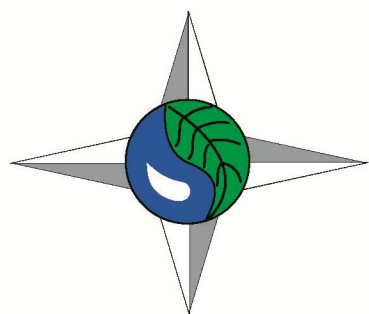




ISSN 2311-0902 (print)
ISSN 2616-7271 (online)

Номер 23

Issue 23

2019

УКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Ukrainian Hydrometeorological Journal

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Ministry of Education and Science of Ukraine

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Odessa State Environmental University

**У К Р А Ї Н С Ь К И Й
ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ
ЖУРНАЛ**

Ukrains'kij Gidrometeorologičnij Žurnal

Ukrainian Hydrometeorological journal

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Scientific Journal

Друкується 2 рази на рік

Issued: 2 times a year

Заснований у 2005 р.

Founded in 2005 y.

№ 23, 2019

**Одеса
ТЕС
2019**

Головний редактор

Ю. С. Тучковенко, д-р геогр. наук, проф.,
проректор з наукової роботи ОДЕКУ (Одеський
державний екологічний університет)

Заступники головного редактора

Н. С. Лобода, д-р геогр. наук, проф., зав. кафедри
гідроекології та водних ресурсів ОДЕКУ;
редактор розділу : Гідрологія суші,
водні ресурси, гідрохімія

Т. А. Сафранов, д-р геол.-мінер. наук, проф.,
зав. кафедри екології та охорони довкілля ОДЕКУ;
редактор розділу : Конструктивна географія і
раціональне використання природних ресурсів

В. М. Хохлов, д-р геогр. наук, проф.,
проректор з навчально-методичної роботи ОДЕКУ;
редактор розділів : Метеорологія
і кліматологія, Агрометеорологія

Члени редакційної колегії

А. А. Бакланов, д-р фіз.-мат. наук, проф. метеорології,
геофізики, ст. наук. співроб. Датського метеорологічного інституту;
асоційований проф. Інституту Нільса Бора Копенгагенського
університету (Данія); **М. А. Берлінський**, д-р геогр. наук, проф.,
зав. кафедри океанології та морського природокористування
ОДЕКУ; **В. В. Гребін**, д-р геогр. наук, проф. кафедри гідрології
та гідроекології Київського національного університету ім. Тараса
Шевченка; **С. С. Зілітінкевич**, д-р фіз.-мат. наук, проф.
метеорології, геофізики, директор з досліджень, відділ наук про
атмосферу, університет Гельсінкі; дослідницький проф., Фінський
метеорологічний інститут (Фінляндія); **С. В. Іванов**, д-р геогр.
наук, старш. наук. співроб., пров. наук. співроб. науково-дослідної
частини ОДЕКУ; **М. І. Кульбіда**, канд. геогр. наук, директор
Українського гідрометеорологічного центру, м. Київ;
О. Макаріньський, PhD в географії, пров. наук. співроб.,
Австралійський інститут морських наук, дослідницький центр
"Арафура-Тімор" (Австралія); **Д. Макаріньська**, PhD у геофізиці,
Служба якості води/Відділ водних ресурсів, Департамент екології
та природних ресурсів (Австралія); **В. А. Овчарук**, д-р геогр. наук,
доцент, директор Гідрометеорологічного інституту ОДЕКУ;
А. М. Польовий, д-р геогр. наук, проф., зав. кафедри
агрометеорології та агроєкології ОДЕКУ; **С. М. Степаненко**, д-р
фіз.-мат. наук, проф., ректор ОДЕКУ; **Ж. Р. Шакірманова**, д-р
геогр. наук, проф., зав. кафедри гідрології суші ОДЕКУ.

Відповідальний секретар

О. І. Маруніч, співробітник редакційно-видавничого відділу
ОДЕКУ.

Editor-in-Chief

Yurii S. Tuchkovenko, D. Sc. in Geography, Prof.,
Vice-Rector for Research of OSENU (Odessa State
Environmental University), Ukraine

Deputies of Editor-in-Chief

Valeriy M. Khokhlov, D. Sc. in Geography, Prof.,
Vice-Rector for Educational Methodology of OSENU, Ukraine;
Editor of the sections : Meteorology and Climatology,
Agricultural Meteorology

Nataliya S. Loboda, D. Sc. in Geography, Prof.,
Head of the Department of Hydroecology
and Water Resources of OSENU, Ukraine;
Editor of the section : Hydrology,
Water Resources, Hydrochemistry

Tamerlan A. Safranov, D. Sc. in Geology and Mineralogy,
Prof., Head of the Department of Ecology and
Environmental Protection of OSENU;
Editor of the section : Constructive Geography
and Rational Use of Natural Resources

Members of the Editorial Board

Alexander A. Baklanov, D. Sc. in Physics and Mathematics, Prof. of
Meteorology, Geophysics, Senior Scientist / Project Leader at Danish
Meteorological Institute, Research Department; Adjoint Professor at the
Niels Bohr Institute of the University of Copenhagen, Denmark;
Mykola A. Berlinskyi, D. Sc. in Geography, Prof., Head of the
Department of Oceanography and Marine Nature Management of
OSENU, Ukraine; **Vasyl V. Grebin**, D. Sc. in Geography, Prof. of the
Department of Hydrology and Hydroecology of Taras Shevchenko
National University of Kyiv, Ukraine; **Sergiy V. Ivanov**, D. Sc. in
Geography, Senior Researcher, Lead Researcher of the Research
Division of OSENU, Ukraine; **Mykola I. Kulbida**, PhD in Geography,
Director of Ukrainian Hydrometeorological Centre, Kyiv, Ukraine; **Oleg
Makarynskyi**, PhD in Geography, Lead Researcher, Australian
Institute of Marine Science, Arafura Timor Research Facility, Australia;
Dina Makarynska, PhD in Geophysics, Aquatic Health Unit / Water
Resources Division, Department of Environment and Natural Resources,
Australia; **Valeriya A. Ovcharuk**, D. Sc. in Geography, Assoc. Prof.,
Director of the Hydrometeorological Institute of OSENU, Ukraine;
Anatolii M. Polovyi, D. Sc. in Geography, Prof., Head of the
Department of Agrometeorology and Agroecology of OSENU, Ukraine;
Zhanetta R. Shakhirzanova, D. Sc. in Geography, Prof., Head of the
Department of Land Hydrology of OSENU, Ukraine; **Sergiy M. Stepanenko**, D. Sc. in Physics and Mathematics, Prof.,
Rector of OSENU, Ukraine; **Sergej S. Zilitinkevich**, D. Sc. in Physics
and Mathematics, Prof. of Geophysics, Meteorology; Director of
Research, Division of Atmospheric Sciences, University of Helsinki;
Research Professor, Finnish Meteorological Institute, Finland.

Executive Secretary

Oleksandra I. Marunych, Officer of the Editorial and Publishing
Department of OSENU.

"Український гідрометеорологічний журнал" є спеціалізованим науковим виданням, в якому публікуються результати фундаментальних та прикладних наукових досліджень у напрямках "Гідрометеорологія" (метеорологія і кліматологія; агрометеорологія; гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія; океанологія) та "Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів" Наук про Землю з метою інформування про сучасні наукові досягнення українських та зарубіжних дослідників, розвитку вищої освіти, оприлюднення результатів наукових досліджень з теоретичних та прикладних аспектів вирішення актуальних проблем у відповідних або суміжних областях науки.

Журнал призначений для науковців, науково-педагогічних працівників закладів вищої освіти, студентів, аспірантів та докторантів, фахівців у галузі природничих наук за спеціальністю Науки про Землю.

Ukrainian Hydrometeorological Journal publishes the original results of fundamental and applied research in the fields of 'Hydrometeorology' (Meteorology and Climatology; Agricultural Meteorology; Hydrology and Water Resources, Hydrochemistry; Oceanography) and 'Constructive Geography and Rational Use of Natural Resources' in the Earth Sciences. The objective of this Journal is to distribute information on modern scientific achievements of Ukrainian and foreign researchers, promote development of higher education, and publish original research works on theoretical and applied aspects of finding solution to the topical problems in both the subject and the related fields of science.

The Journal is intended to be used by lecturers of higher education institutions, students, postgraduate students, researchers and experts in the field of Natural Sciences under the speciality of Earth Sciences.



В процесі підготовки номера до друку було використано Систему виявлення збігів / ідентичності / схожості **UNICHECK** для пошуку текстового збігу

ЗМІСТ

CONTENTS

Метеорологія і кліматологія

Meteorology and Climatology

- Ель Хадрі Ю., Хохлов В. М. Режим швидкості вітру в Танжері у 2021-2050 роках 5 *El Hadri Y., Khokhlov V. M. Wind speed regime in Tangier in 2021-2050*
- Манукало В. О., Кульбіда М. І., Іванов Б. О. Удосконалення гідрометеорологічного обслуговування користувачів на основі застосування сучасних інформаційних технологій 14 *Manukalo V. O., Kulbida M. I., Ivanov B. O. Improving the hydrometeorological service of users based on application of modern information technologies*
- Серга Э. Н., Серга И. Н. Зоны интенсивных взаимодействий над Северной Атлантикой, поверхность 700 гПа, ноябрь 25 *Serga E. N., Serga I. N. Zones of intensive interactions over the North Atlantic, 700 hPa level, November*
- Дворецька І. В., Савенець М. В., Уманець А. П., Комісар К. М. Огляд стану озонного шару та рівня ультрафіолетового опромінення над територією України у 2018 році 34 *Dvoretzka I. V., Savenets M. V., Umanets A. P., Komisar K. M. Examination of the ozone layer condition and level of ultraviolet irradiation within the territory of Ukraine in 2018*

Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія

Hydrology, Water Resources, Hydrochemistry

- Лобода Н. С., Куза А. М., Козлов О. М. Оцінка можливих змін водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману на початку XXI сторіччя (2021-2050 pp.) за моделями кліматичного сценарію RCP4.5 42 *Loboda N. S., Kuza A. M., Kozlov O. M. Assessment of possible changes of water resources of the rivers belonging to the Kuyalnytskyi Liman catchment at the beginning of the 21st century (2021 -2050) according to the models of the climatic scenario RCP4.5*
- Лобода Н. С., Смалій О. В., Катинська І. В., Котович О. М. Оцінка змін якості води по довжині річки Сіверський Донець на початку XXI сторіччя 54 *Loboda N. S., Smalii O. V., Katynska I. V., Kotovich O. M. Assessment of changes in the water quality along the length of the Siverskyi Donets river at the beginning of the 21st century*

Океанологія

Oceanography

- Макаринський О., Макарянська Д. Integrated marine monitoring for drilling discharges under mesotidal forcing 69 *Makarynskyi O., Makarynska D. Integrated marine monitoring for drilling discharges under mesotidal forcing*
- Берлінський М. А., Гаврилюк Р. В., Даниленко О. О. Тенденції довготермінових змін полів температури, солоності та рівня вод в північно-західній частині Чорного моря 84 *Berlinsky N., Gavriluk R., Danilenko O. Tendencies of long-term changes of temperature fields, salinity and water level of the North-Western part of the Black Sea*
- Кушнір Д. В., Тучковенко Ю. С., Попов Ю. И. Результаты адаптации и верификации комплекса интегрированных численных моделей для прогнозирования изменчивости океанографических характеристик в северо-западной части Черного моря 95 *Kushnir D. V., Tuchkovenko Yu. S., Popov Yu. I. Results of adaptation and verification of the coupled numerical models set for predicting the variation of oceanographic features in the North-Western part of the Black Sea*
- Тучковенко Ю. С. Імітаційне моделювання відгінно-нагінних коливань рівня моря в портах Одеського району північно-західної частини Чорного моря 109 *Tuchkovenko Yu. S. Simulation modelling of wind-induced sea level fluctuations at the ports of the Odesa Region in the North-Western part of the Black Sea*

**Конструктивна географія і раціональне
використання природних ресурсів**

**Constructive Geography and
Rational Use of Natural Resources**

- Сафранов Т. А., Приходько В. Ю., Шаніна Т. П., Гусєва К. Д.* SWOT-аналіз екологічної складової урбанізованої території (на прикладі міста Одеса) **121**
- Сафранов Т. А., Приходько В. Ю., Шаніна Т. П., Гусєва К. Д.* SWOT analysis of the urbanized area environmental component (using the example of city of Odesa)
- Поletaєва Л. М., Сапко О. Ю., Сафранов Т. А.* Оцінка рекреаційного потенціалу пляжних зон Одеської області **135**
- Poletayeva L. M., Sapko O. Yu., Safranov T. A.* Evaluation of recreational potential of Odesa Region's beach zones

УДК: 551.553.6, PACS: 92.60.Aa

РЕЖИМ ШВИДКОСТІ ВІТРУ В ТАНЖЕРІ У 2021-2050 РОКАХ

Юсеф Ель Хадрі, В. М. Хохлов

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,
magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

Вступ. Марокканська енергетична система дуже залежить від зовнішніх енергетичних ринків. Тому сучасна марокканська енергетична стратегія спрямована на розгортання проєктів в галузі поновлюваних технологій. Марокко багата на вітрові ресурси.

Метою даної публікації є визначення характеристик вітрового режиму в 2021-2050 роках в Танжері для оцінки вітрового потенціалу.

Результати. В цьому дослідженні були використані дані регіональних кліматичних моделей (РКМ) з високим просторовим дозволом проєкту CORDEX. Результати моделювання РКМ по сценарію RCP 4.5 подані в прямокутній системі координат з просторовим дозволом ≈ 44 км. Для аналізу був використаний ансамбль з 11 кліматичних моделей. Для перевірки РКМ застосовувались ретроспективні симуляції для періоду 2011-2016 рр., а для перевірки прогнозів РКМ за швидкістю вітру використовувались спостереження на метеостанції Танжер. Виконаний аналіз дозволяє зробити висновок, що середні за ансамблем моделей ряди середньомісячних значень близькі до середніх значень спостережуваних метеорологічних параметрів. Моделі відображають кліматичні параметри з різним ступенем точності, їх результати можуть бути використані для аналізу майбутніх станів кліматичної системи в цьому регіоні. Середня швидкість вітру для періоду 2021-2050 рр. на станції Танжер буде складати 5,1 м/с, що більше поточного значення на 0,6 м/с. На території регіону Танжер - Тетуан - Ель-Хосейма прогнозується швидкість вітру 4,5 м/с і більше. Порівняння значення швидкості вітру, розрахованої РКМ, з даними спостережень за період 2005-2014 рр. показало збільшення її значення. На основі середньорічних значень швидкості вітру в кожному вузлі сітки були розраховані коефіцієнти лінійної регресії.

Висновок. Моделювання РКМ показало, що в 2021-2050 роках на території регіону Танжер - Тетуан - Ель-Хосейма будуть переважати умови, сприятливі для експлуатації та подальшого розвитку вітроенергетики. Порівняння модельних розрахунків з даними спостережень для поточного кліматичного періоду показало, що в районі Гібралтарської протоки і на прилеглих до неї територіях в майбутньому очікується збільшення швидкості вітру. Максимум в річному ході швидкості вітру буде спостерігатися в холодний період року, який збігається з періодом зростання споживання електроенергії споживачами.

Напрямки подальших досліджень. Результати цього дослідження будуть використані в якості основи для розрахунку потужності вітру в цьому регіоні в 2021-2050 рр.

Ключові слова: швидкість вітру, регіональні кліматичні моделі, CORDEX, Марокко.

1. ВСТУП

Перехід до поновлюваних технологій має першорядне значення для врегулювання кліматичних проблем. Досягнення частки 30 % до 2030 року може бути досить щоб запобігти зростанню глобальної температури більш ніж на 2°C , в порівнянні з доіндустріальним рівнем. Збереження показника нижче передбаченого Паризькою угодою 2°C потребуватиме збільшення їх відсотка до 36 %.

Марокканська енергетична система сильно залежить від зовнішніх енергетичних ринків. Відповідно до інформації Міністерства енергетики, в даний час в Марокко імпортується більш

93 % енергоносіїв. Держава закуповує на міжнародних енергетичних ринках вугілля для своїх електростанцій. Природний газ і нафтопродукти імпортується з Алжиру, в якості компенсації, за транзит алжирського газу через Марокко на південь Іспанії. Від 14 до 20 % щорічно споживаної електроенергії в Марокко припадає на імпортовану через Гібралтарську протоку з Іспанії електрику [1].

У 2009 році уряд Марокко розробив Національну енергетичну стратегію. Одним з пріоритетних напрямків даної програми є збільшення частки поновлюваних технологій в енергетиці країни. Крім того, Марокко запустила Програму

з розвитку поновлюваних джерел енергії [2], метою якої є досягнення загальної встановленої потужності 2000 МВт, одержуваної від енергії вітру.

Високий потенціал відновлюваних енергетичних ресурсів Марокко, головним чином сонячної енергії та енергії вітру, привертає державні та приватні інтереси в розгортанні технології поновлюваних джерел енергії.

Марокко багата вітровими енергетичними ресурсами. Розрахунки, зроблені організаціями, які беруть участь в розробці вітроенергетики в Марокко, дають обґрунтування, що технічний потенціал вітрової енергії в Марокко складе 26 ГВт [3]. Введення марокканської інтегрованої вітрової програми включає збільшення вироблюваної енергії від вітроенергетичних установок (ВЕУ) від 797 МВт в 2015 році до 2000 МВт до 2020 року і до 5000 МВт або 20 % від всіх встановлених потужностей до 2030 року [4].

Одним з перспективним для розвитку вітроенергетики районів є адміністративна область Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма, яка розташована на півночі Марокко (рис. 1). Область Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма є однією з найбільш густонаселених провінцій, густина населення за даними на 2014 р. [5] складала більше 150 чоловік на кв. кілометр, та має велику потребу у додаткових джерелах електроенергії. На території даної провінції, згідно [4], до 2020 р. планується введення в експлуатацію вітропарків загальною потужністю 500 МВт в районах Тіскрад, Танжер і Кудія Ель Байда.

Вивченню сучасного та майбутнього режиму вітру в області Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма присвячені роботи як марокканських, так і зарубіжних дослідників [6-11]. Результати дослідження швидкості вітру для періодів 1993-1994 та 1996-1999 рр. [6-8] демонструють, що найбільш перспективним з точки зору вітроенергетики є район ст. Кудія Ель Байда, розташованої біля міста Тетуан, де середньомісячні швидкості вітру постійні та існують земельні ділянки, придатні для розміщення ВЕУ. Мінімальна швидкість вітру в цьому районі фіксувалася в зимовий період (8,2 м/с), а максимальна – влітку (11 м/с).

Дослідження режиму вітру в Марокко для періоду 2005-2014 рр. [10] показало, що на ст. Танжер середньорічна швидкість вітру становила 4,8 м/с. Максимальна середньомісячна швидкість вітру відзначалася в березні і дорівнювала 5,1 м/с, мінімальна спостерігалася в грудні-січні і становила 4,0 м/с. Переважаючими

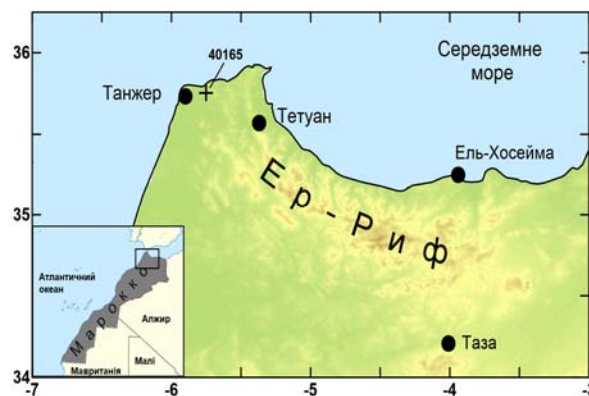


Рис. 1 – Схема розташування метеостанцій і вузла моделей 40165

напрямами вітру на ст. Танжер є східний і захід-північно-західний напрямки, повторюваність яких протягом року відчуває незначні зміни. На станціях, розташованих на середземноморському узбережжі (Тетуан, Ель-Хосейма), переважають напрямки вітру квазіперпендикулярні до берегової лінії і відзначається зміна переважаючого напрямку від січня до липня. У липні переважають вітри, що дмуть з моря на берег, в січні з суші на море [11].

Прогноз майбутніх змін швидкості вітру в Середземноморському регіоні [9], який було виконано за допомогою кліматичного моделювання проєктів ENSEMBLES і MED-CORDEX показав, що у 2020-2050 рр. в районі Танжера моделі демонструють зростання швидкості вітру в обох сезонах відносно показників 1961-1990 рр.

Метою дослідження є виявлення особливостей вітрового режиму в районі міста Танжер у 2021-2050 рр. для оцінки вітроенергетичного потенціалу.

2. МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Район дослідження

Адміністративна область Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма розташована на півночі Марокко на узбережжі Атлантичного океану, Гібралтарської протоки та Середземного моря (рис. 1). Територія має складний рельєф, смуга прибережних рівнин на заході переходить в гори Ер-Риф на сході.

2.2 Вихідні дані

У дослідженні були використані дані регіонального кліматичного моделювання з високим просторовим розрішенням проєкту CORDEX-Африка [12]. Кліматичні дані CORDEX отримані

Таблиця 1 – Характеристики регіональних кліматичних моделей

№ моделі	Назва моделі	Модель загальної циркуляції атмосфери	Інститут-розробник
M1	KNMI-ICHEC-EC-EARTH	IFS	CNRM, Франція
M2	CanESM2	CanCM4	CCCMA, Канада
M3	CNRM-CM5	ARPEGE	CNRM / CERFACS, Франція
M4	SMHI-ICHEC-EC-EARTH	IFS	CNRM, Франція
M5	CSIRO Mark 3.6	Mk3 AGCM	CSIRO, Австралія
M6	IPSL-CM5A-MR	LMDZ	IPSL, Франція
M7	MIROC5	AGCM CCSR	AORI/NIES/JAME S&T, Японія
M8	HadGEM2-ES	HadGEM2-A	Hadley Center, Великобританія
M9	MPI-ESM-LR	ECHAM6	MPI, Німеччина
M10	NorESM1	CAM4-Oslo	NCC, Норвегія
M11	GFDL-ESM2M	AM3	GFDL, США

з аналізу даних спостережень (1988-2010 рр.) або з глобальних кліматичних моделей (1950-2100 рр.). Масштабування виконується з використанням декількох регіональних моделей клімату та методів статистичного даунскейлінга.

Симуляції регіональних кліматичних моделей (РКМ) надають можливості для більш глибокого розуміння атмосферних процесів у досліджуваному регіоні та оцінки їх можливих змін в майбутньому.

У роботі використовувались результати моделювання РКМ за сценарієм RCP 4.5 для регіону Африки, подані у прямокутній системі координат з просторовим розрішення ≈ 44 км. Для аналізу використовувався ансамбль з 11 кліматичних моделей (табл. 1).

Найбільш високу успішність відтворення середніх кліматичних характеристик, при порівнянні з даними спостережень, як правило, показує результат усереднення за ансамблем моделей. Це пов'язано з тим, що систематичні помилки, властиві кожній моделі окремо часто є випадковими по відношенню до ансамблю моделей і при осередненні за ансамблем взаємно компенсуються [13].

В результаті розрахунку РКМ були отримані середньомісячні значення швидкості вітру для періоду 2021-2050 рр. На основі середньомісячних значень було розраховане середньорічне значення швидкості вітру.

2.3 Верифікація модельних розрахунків

Для верифікації РКМ були використані ретроспективні проєкції за період 2011-2016 рр. В якості вихідних даних швидкості вітру були використані спостереження на метеорологічній станції Танжер, розташованій на території аеропорту на відкритій місцевості. Для порівняння

були обрані результати модельних розрахунків у вузлі сітки, якнайближче розташованому до метеостанції (табл. 2, рис. 1).

Метеорологічна станція Танжер розташована в 4,2 км від берега Атлантичного океану в долині річки, орієнтованої із заходу на схід, вузол 40165 знаходиться в 13,7 км на схід від метеостанції в 3,9 км від узбережжя Гібралтарської протоки.

Таблиця 2 – Координати метеостанції та вузла моделі

Координати		Висота над рівнем моря, м
φ, ° пн. ш.	λ, ° зх. д.	
Станція Танжер		
35°44'	05°54'	21
Вузол сітки моделі 40165		
35°45'	05°45'	78

Для верифікації моделей були розраховані такі статистичні параметри: середнє значення ряду, середньоквадратичне відхилення (σ), середня помилка, мультиплікативне зміщення, коефіцієнт взаємної кореляції.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЕРИФІКАЦІЇ РОЗРАХУНКІВ РКМ

В цілому, необхідно відзначити таку деталь, що моделі з різним ступенем точності відтворюють величину (найкращі показники, що характеризують близькість середніх значень рядів) і мінливість (найменше розбіжність σ рядів і найбільший коефіцієнт кореляції) швидкості вітру (табл. 3, рис. 2).

На ст. Танжер величина ME склала 0,3 м/с. Найбільш низьке значення ME мають ряди моделей M7 і M8 (0,2 м/с). Мультиплікативне

зміщення рядів склало 1,1. Оптимальне значення MB (1,0) мають ряди моделей M7 і M8.

Таблиця 3 – Статистичні характеристики ряду спостережень і середнього за ансамблем моделей ряду середньомісячної швидкості вітру та їх помилки на ст. Танжер

Ряди	$V, \text{м/с}$	$ME, \text{м/с}$	MB	$\sigma, \text{м/с}$	r
спостережень	4,8	0,3	1,1	0,9	0,1
модельний	5,1			0,3	

Різниця σ середнього за ансамблем моделей і спостережуваного рядів склала -0,6 м/с. Коефіцієнт кореляції дорівнює 0,1. Найбільш високий коефіцієнт кореляції між модельним і спостережуваним рядами має модель M5 та дорівнює 0,3.

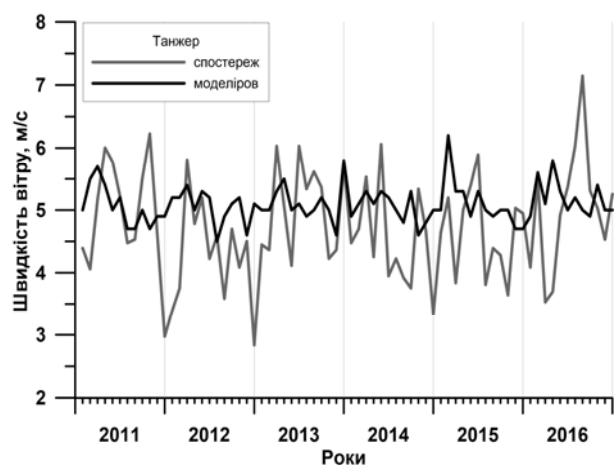


Рис. 2 – Спостережуваний і модельний ряди V (м/с) на ст. Танжер

Відмінності можуть бути пояснені орографічними ефектами, формою берегової лінії, а також впливом місцевих вітрів. Відмінності в орієнтації берегової лінії створює складну бризову циркуляцію.

Район Гібралтарської протоки протягом року перебуває під впливом вітру Леванту і його контрагента Поніенте, а також місцевого вітру Вендаваль. Левант має східний напрямок і спостерігається з липня по жовтень і у березні, Поніенте – західний і має місце в інші місяці. Навесні (з лютого по травень) і восени (з жовтня по грудень) ці вітри можуть досягати штормової сили, а влітку (з червня по вересень) їх сила не перевищує швидкості помірного бризу [14].

Вендаваль штормовий південно-західний або південно-східний вітер, що дме з Марокко на узбережжя Іспанії, може досягати сили урагану, і

найчастіше спостерігається у період з жовтня по січень [15].

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що, незважаючи на існуючу різницю в просторовому масштабі і репрезентативності поданих даних спостережень і результатів моделювання, середній по ансамблю моделей часовий ряд середньомісячних значень є близьким до середніх значень спостережених метеорологічних параметрів. Різниця у результатах моделювання з даними спостережень може бути викликана розбіжністю локалізації в просторі, і як наслідок різницею висоти над рівнем моря вузлів сітки моделей і метеостанцій. Підсумовуючи, можна зробити висновок, що результати моделювання можна розглядати як вхідні дані при аналізі майбутніх станів кліматичної системи в даному регіоні.

4. ПРОЕКЦІЇ РКМ ШВИДКОСТІ ВІТРУ В ПЕРІОД 2021-2050 РР.

Середня швидкість вітру для періоду 2021-2050 рр., розрахована РКМ у вузлі 40165, становила 5,1 м/с. В цілому на території провінції Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма моделі прогнозують швидкості вітру більше 4,5 м/с. Порівняння величини швидкості вітру на ст. Танжер отримане РКМ з даними спостережень для періоду 2005-2014 рр. показало збільшення її величини на 0,3 м/с. Аналогічні зміни в швидкості вітру в районі Танжера були отримані в результаті дослідження, проведеного італійськими вченими в рамках проекту CLIM-RUN [9].

На основі розрахованих середньорічних значень швидкості вітру, в кожному вузлі сітки моделі був проведений розрахунок коефіцієнтів лінійної регресії (a) і (b). Аналіз величини коефіцієнта (a) дозволяє оцінити динаміку зміни середньорічної швидкості вітру в досліджуваному періоді в даній точці простору.

В результаті проведеного аналізу було встановлено, що в районі Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма можна очікувати зростання швидкості вітру від 0,02 до 0,07 м/с за 30 років. У вузлі 40165, який найближче розташований до ст. Танжер, за 30 років очікується зростання швидкості вітру на 0,067 м/с (табл. 4, рис. 3).

Таблиця 4 – Коефіцієнти лінійної регресії швидкості вітру і фактичне значення критерію Стьюдента у вузлі 40165

Коефіцієнти регресії			Критерій Стьюдента	
a , 30 років	a	b	t	$t_{кр}$ ($\alpha=0,1$)
0,067	0,0022	5,028	1,85	1,7

Оцінка статистичної значущості показала, що у вузлі 40165 коефіцієнт (a) є значущим при $\alpha = 0,1$.

З причини різних підходів і систематичних помилок, якість розрахунків різних кліматичних моделей неоднакова. Для кожної величини для кожного місяця були отримані ряди з 11 значень розрахованих моделями. Значення в такому ряду знаходяться в певному інтервалі і їх розподіл може не відповідати нормальному закону. В такому випадку, в якості графічної ілюстрації емпіричного розподілу, зручно використовувати діаграму типу «ящик з вусами», яка надає діагностичну, описову і наочну інформацію про досліджувану сукупність емпіричних даних [16].

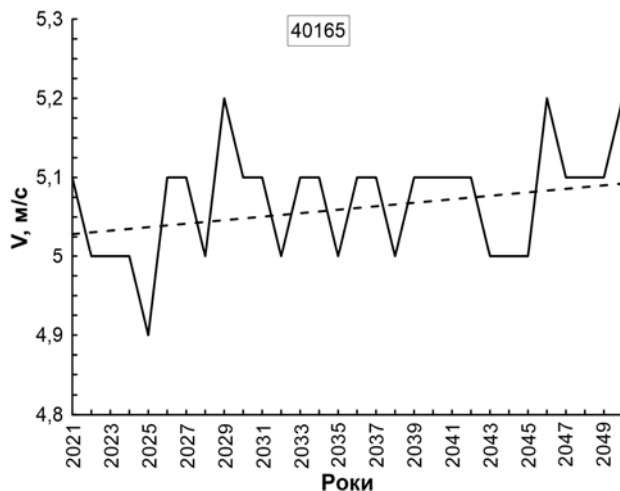


Рис. 3 – Середньорічна швидкість вітру (м/с) (суцільна лінія), лінійний тренд (пунктирна лінія) у вузлі сітки моделей 40165

Аналіз середньорічної швидкості вітру у вузлі 40165 (рис. 4) показав, що її максимальне значення коливається від 5,4 до 6,1 м/с, мінімальне знаходиться в межах 3,2-4,0 м/с. Середнє значення медіани становить 5,2 м/с, середнє значення 25-го перцентилу складає 5,0 м/с, а 75-го перцентилу – 5,4 м/с. Це говорить про незначне розходження в значеннях розрахованих моделями і про репрезентативності середніх по ансамблю моделей величин.

Аналіз річного ходу швидкості вітру (рис. 5) показав, що у вузлі 40165 максимум буде спостерігатися у березні-квітні і дорівнювати 5,4 м/с. Що відносно мінімуму швидкості вітру, то моделі прогнозують два мінімуми, один у липні та другий у листопаді-грудні (4,8 м/с). Необхідно додати, що у вересні моделі прогнозують вторинний максимум, який буде дорівнювати 5,3 м/с. Подібні особливості у річному ході швидкості вітру відмічаються на ст. Танжер у періоді 2005-2014 рр., вторинний максимум також відмічався у вересні

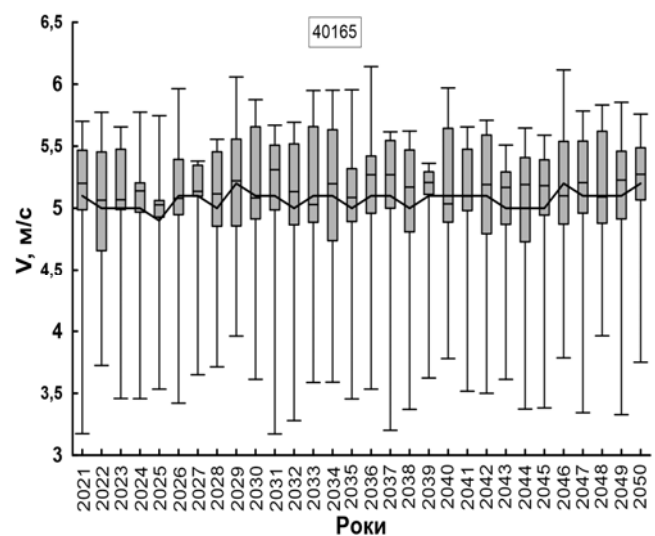


Рис. 4 – Міжрічний хід швидкості вітру (м/с) в вигляді «ящика з вусами» в вузлі 40165

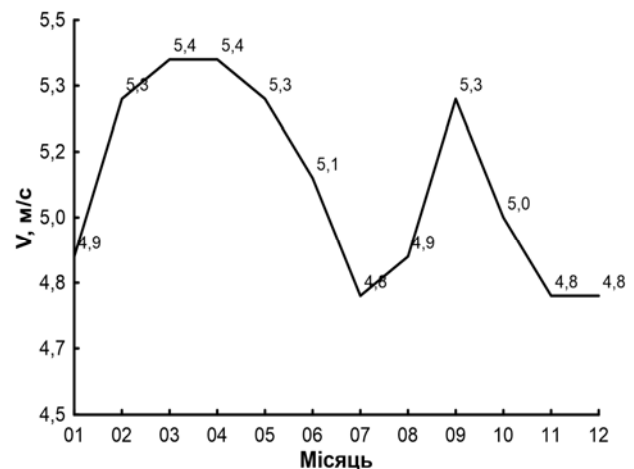


Рис. 5 – Річний хід швидкості вітру (м/с) у вузлі сітки моделей 40165

місяці і складав 4,7 м/с. Як можна побачити у [11], незначне зростання швидкості вітру у вересні спостерігається і на ст. Тетуан, розташованої у 55 км від ст. Танжер, з цього можна зробити висновок, що дана особливість у річному ході характерна для усієї території прилеглої до Гібралтарської протоки.

В цілому можна сказати, що річний хід з максимумом швидкості вітру в березні-квітні і мінімумом в липні-серпні моделі прогнозують у гірських районах Ер-Рифу, на Центральному марокканському плато і на плато Алжиро-Марокканської Месети.

Такі особливості в річному ході швидкості вітру можна пояснити сезонними змінами в повторюваності циркуляційних погодних типів на території Марокко. В холодне півріччя зростає повторюваність погодних типів при яких північ країни знаходиться під впливом циклонічної циркуляції при розвитку якої спостерігається зростання швидкості вітру в даному регіоні [17]. Якщо простежити зміни від весни до літа циркуляційних погодних типів [18], то можна помітити, що в квітні на частку типів, при яких північна частина Марокко знаходиться під впливом циклонічної циркуляції припадає близько 25 % випадків. В період з листопада по лютий відмічається зростання повторюваності погодного типу, при якому над північною країною розташовується центральна частина відрогів Азорського антициклону при його поширенні на західну частину Середземного моря та північно-західну частину Африки; з встановленням такого типу циркуляції може бути пов'язано виникнення слабкого вітру в даному регіоні.

Виникнення вторинного максимуму в річному ході швидкості вітру в вересні, може бути пояснено тим, що наряду з наявністю температурного контрасту між африканським континентом і водами Атлантичного океану, що супроводжується підвищеними градієнтами тиску в районі узбережжя, спостерігається збільшення відсотка повторюваності циркуляційних погодних типів [18] пов'язаних з проходженням циклонів по півночі Марокко. У жовтні повторюваність циклонічних погодних типів продовжує зростати, а повторюваність погодних типів, при яких на Атлантичному узбережжі Марокко встановлюються підвищені градієнти

тиску, різко знижується (близько на 10 %), що призводить до деякого зниження повторюваності підвищених швидкостей вітру.

5. ВИСНОВКИ

Аналіз результатів моделювання швидкості вітру в 2021-2050 рр. показав, що в регіоні Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма в майбутньому будуть зберігатися сприятливі умови для функціонування ВЕУ і подальшого розвитку вітроенергетики.

Незважаючи на деякі розбіжності результатів отриманих автором з результатами аналогічних досліджень щодо зміни середньої швидкості вітру для періоду 2021-2050 рр. відносно попереднього кліматичного періоду, можна сказати, що в районі Гібралтарської протоки і на прилеглих до нього територіях в майбутньому очікується збільшення швидкості вітру, з наявністю статистично значущого позитивного тренду всередині періоду 2021-2050 рр.

Максимум в річному ході швидкості вітру буде відзначатися в холодний період року, що збігається з періодом зростання використання електроенергії споживачами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Nfaoui H., Sayigh A.A.M. Contribution of Renewable Energy to Morocco's Energy Independence. *ISESCO Journal of Science and Technology*. 2015. 11(19). Pp. 90-96.
2. Бородкина Н. В. Французская политика в области возобновляемых источников энергии в Марокко в начале XXI века. *Вестник САФУ. Серия «Гуманитарные и социальные науки»*. 2015. № 3. С. 5-10.
3. Renewable Energy Transitions in Jordan and the MENA Region. URL: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/ammann/12045.pdf> (Accessed: 23.09.2018)
4. Schinke B. et al. Background Paper: Country Fact Sheet Morocco Energy and Development at a glance. Bonn: Germanwatch, 2016. 58 p.
5. Recensement Général de la Population et de l'Habitat. URL: www.hcp.ma/region-oriental/docs/RGPH2014/Premiers%20Resultats%20du%20RGPH%202014final_29_04_2015.pdf (Accessed: 23.09.2018)
6. Nfaoui H., Buret J., Sayigh A.A.M. Stochastic simulation of hourly average wind speed sequences in Tangiers (Morocco). *Solar Energy*. 1996. 56(3). Pp. 301-314.
7. Nfaoui H., Essiarab E., Sayigh A.A.M. A stochastic Markov chain model for simulating wind speed times

- series at Tangiers, Morocco. *Renewable Energy*. 2004. 29. Pp. 1407-1418.
8. Sadouk A., Djebli A. Wind Energy Potential in Tetuan City Northern of Morocco. *International Journal of Science and Research*. 2015. 4(10). Pp. 689-693.
9. Dell'Aquila A., Calmanti S., Davies M., Schmidt P. Climate information for the wind energy industry in the Mediterranean Region: from ENSEMBLES to MEDCORDEX. URL: www.climrun.eu/news_data/195/3.climate_ervicesenergy_productionrgionalclimatemodels.pdf (Accessed: 23.09.2018)
10. Ель Хадрі Ю., Хохлов В. М. Режим швидкості вітру в Марокко на початку XXI століття. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. №21. С. 22-28.
11. Сліже М. О., Семергей-Чумаченко А. Б., Ель Хадрі Ю. Современное распределение ветра в Марокко. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. №17. С. 61-69.
12. IS-ENES climate4impact portal. URL: <https://climate4impact.eu/> (Accessed: 10.05.2016)
13. Новое поколение климатических моделей / Павлова Т. В., Катцов В. М., Мелешко В. П. и др. *Труды ГГО*. 2014. Вып. 575. С. 5-64.
14. WeatherOnline Ltd. URL: www.weatheronline.co.uk (Accessed: 23.09.2018)
15. Komimeteo.ru. URL: www.komimeteo.ru/encyclopedia/termin436.html (дата звернення: 23.09.2018)
16. Дарманиян А. П. Использование показателей описательной статистики для характеристики эмпирических выборок макроэкономических индикаторов. *Экономика региона*. 2013. Вып. 2. С. 157-163
17. Алисов Б. П., Полтараус Б. В. Климатология. Москва : Изд-во МГУ, 1974. 300 с.
18. Born K., Fink A.H., Knippertz P. (2010). Meteorological processes influencing the weather and climate of Morocco. *Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2010. Pp. 150-163.
4. Schinke, B. et al. (2016). *Background Paper: Country Fact Sheet Morocco Energy and Development at a glance*. Bonn: Germanwatch.
5. Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Available at: www.hcp.ma/region-oriental/docs/RGPH2014/Pre-miers%20Resultas%20du%20RGPH%202014final_29_04_2015.pdf (Accessed: 23.09.2018)
6. Nfaoui, H., Buret, J. & Sayigh, A.A.M. (1996). Stochastic simulation of hourly average wind speed sequences in Tangiers (Morocco). *Solar Energy*, 56(3), pp. 301-314.
7. Nfaoui, H., Essiarab, E. & Sayigh, A.A.M. (2004). A stochastic Markov chain model for simulating wind speed times series at Tangiers, Morocco. *Renewable Energy*, 29, pp. 1407-1418.
8. Sadouk, A. & Djebli, A. (2015). Wind Energy Potential in Tetuan City Northern of Morocco. *International Journal of Science and Research*, 4(10), pp. 689-693
9. Dell'Aquila, A., Calmanti, S., Davies, M. & Schmidt, P. Climate information for the wind energy industry in the Mediterranean Region: from ENSEMBLES to MEDCORDEX. Available at: www.climrun.eu/news_data/195/3.climate_ervicesenergy_productionrgionalclimatemodels.pdf (Accessed: 23.09.2018)
10. El Khadri, Yu. & Khokhlov, V.M. (2017). [Mode of the wind speed in Morocco in early XXI century]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 21, pp. 22-28. (in Ukr).
11. Slizhe, M.O., Semergey-Chumachenko, A.B. & El Hadri, Youssef. (2016). [Current distribution of wind in Morocco]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 7, pp. 61-69. (in Russ).
12. IS-ENES climate4impact portal. Available at: <https://climate4impact.eu/> (Accessed: 10.05.2016)
13. Pavlova, T.V. et al. (2014). [A new generation of climate models]. *Trudy GGO im. A. I. Voeykova [Proceedings of Voeykov Main Geophysical Observatory]*, 575, pp. 5-64. (in Russ).
14. WeatherOnline Ltd. Available at: www.weatheronline.co.uk (Accessed: 23.09.2018)
15. Komimeteo.ru. Available at: www.komimeteo.ru/encyclopedia/termin436.html (Accessed: 23.09.2018)
16. Darmanyan, A.P. (2013). [Using indicators of descriptive statistics to characterize empirical samples of macroeconomic indicators]. *Ekonomika regiona [Economy of the re-gion]*, 2, pp. 157-163. (in Russ).
17. Alisov, B.P. & Poltaraus, B.V. (1974). *Klimatologiya [Climatology]*. Moscow: MSU.
18. Born, K., Fink, A.H. & Knippertz, P. (2010). Meteorological processes influencing the weather and climate of Morocco. *Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, pp. 150-163.

REFERENCES

WIND SPEED REGIME IN TANGIER IN 2021-2050

Youssef El Hadri, V. M. Khokhlov

Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine,
magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

Introduction. The Moroccan energy system is highly dependent on external energy markets. This is why the current Moroccan energy strategy is focused on deployment of renewable technologies projects. Morocco has abundant wind resources.

The purpose of this publication is identifying the characteristics of wind regime in Tangier in 2021-2050 to assess the wind potential.

Results. This particular study used the data of regional climate modelling (RCM) with high spatial resolution of the CORDEX project. The article contains the results of RCM modelling using the RCP 4.5 scenario presented in the rectangular coordinate system with spatial resolution of ≈ 44 km. An ensemble of 11 climatic models was used for the analysis. To verify the RCM retrospective simulations for the period of 2011-2016 were used and to verify the RCM forecasts associated with wind speed we used the observations made at the Tangier meteorological station. The performed analysis allows us to conclude that average ensemble-based series of average monthly values are close to average values of the observed meteorological parameters. The models reflect the climatic parameters with varying degrees of accuracy and their results can be used to analyze future conditions of the climatic system in this region. Average wind speed for the period of 2021-2050 at the Tangier station will be equal to 5.1 m/s which exceeds the current value of 0.6 m/s. According to the forecast the wind speed in the territory of Tanger – Tetouan – Al Hoceima region will exceed 4.5 m/s. Comparison of the RCM-calculated wind speed value with the observational data for the period of 2005-2014 showed its increase. Based on the average annual wind speed values in each of the grid's nodes the linear regression coefficients were calculated.

Conclusion. RCM-modelling showed that in 2021-2050 the territory of Tanger – Tetouan – Al Hoceima region will be dominated by the conditions being favourable for operation and further development of wind energy. Comparison of model calculations with observational data of the current climatic period showed that the Strait of Gibraltar area and the adjacent territories will see the wind speed increase in the future. The maximum value of wind speed annual run will be observed during the cold period of the year which coincides with the period of increased demand for electricity by its consumers.

Directions of further research. The results of this study will be used as the basis for calculating the wind power in this region in 2021-2050.

Keywords: wind speed, regional climate models, CORDEX, Morocco.

РЕЖИМ СКОРОСТИ ВЕТРА В ТАНЖЕРЕ В 2021-2050 ГОДАХ

Юссеф Эль Хадри, В. Н. Хохлов

Одесский государственный экологический университет, ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина,
magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

Введение. Марокканская энергетическая система сильно зависит от внешних энергетических рынков. Поэтому современная марокканская энергетическая стратегия направлена на развертывание проектов в области возобновляемых технологий. Марокко обладает богатыми ветровыми ресурсами.

Целью данной публикации является определение характеристик ветрового режима в 2021-2050 годах в Танжере для оценки ветрового потенциала.

Результаты. В данном исследовании были использованы данные регионального климатического моделирования (РКМ) с высоким пространственным разрешением проекта CORDEX. Результаты моделирования РКМ по сценарию RCP 4.5 представлены в прямоугольной системе координат с пространственным разрешением ≈ 44 км. Для анализа был использован ансамбль из 11 климатических моделей. Для проверки РКМ применялись ретроспективные симуляции для периода 2011-2016 гг., а для проверки прогнозов РКМ по скорости ветра были использованы наблюдения на метеостанции Танжер. Выполненный анализ позволяет сделать вывод, что средние по ансамблю моделей ряды среднемесячных значений близки к средним значениям наблюдаемых метеорологических параметров. Модели отражают климатические параметры с различной степенью точности, их результаты могут быть использованы для анализа будущих состояний климатической системы в этом регионе. Средняя скорость ветра для периода 2021-2050 гг. на станции Танжер составит 5,1 м/с, что больше текущего значения на 0,6 м/с. На территории региона Танжер – Тетуан – Эль-Хосейма прогнозируется скорость ветра 4,5 м/с и более. Сравнение значения скорости ветра, рассчитанной РКМ, с данными наблюдений за период 2005-2014 гг. показало увеличение ее значения. На основе среднегодовых значений скорости ветра в каждом узле сетки были рассчитаны коэффициенты линейной регрессии.

Заклучение. Моделирование РКМ показало, что в 2021-2050 годах на территории региона Танжер – Тетуан – Эль-Хосейма будут преобладать условия, благоприятные для эксплуатации и дальнейшего развития ветроэнергетики. Сравнение модельных расчетов с данными наблюдений для текущего климатического периода показало, что в районе Гибралтарского пролива и на прилегающих к нему территориях в будущем ожидается увеличение скорости ветра. Максимум в годовом ходе скорости ветра будет наблюдаться в холодный период года, который совпадает с периодом роста потребления электроэнергии потребителями.

Направления дальнейших исследований. Результаты этого исследования будут использованы в качестве основы для расчета мощности ветра в этом регионе в 2021-2050 гг.

Ключевые слова: скорость ветра, региональные климатические модели, CORDEX, Марокко.

Подання до редакції : 03. 10. 2018

Надходження остаточної версії : 25. 12. 2018

Публікація статті : 30. 05. 2019

УДК 551.509

УДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ КОРИСТУВАЧІВ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В. О. Манукало¹, М. І. Кульбіда², Б. О. Іванов¹,

¹ Український гідрометеорологічний інститут,

03028, г. Київ, проспект Науки, 37, manukalo@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3214-6229>

² Український гідрометеорологічний центр, 01601 г. Київ, вул. Золоторітська 6-Б

Поліпшення якості гідрометеорологічних продуктів та обслуговування різних категорій кінцевих користувачів наразі є найважливішим завданням гідрометеорологічної служби України. Впровадження цих заходів передбачає широке застосування сучасних технологій гідрометеорологічних вимірювань, а також інформаційно-обчислювальних технологій, таких як Інтернет речей, Великі дані, Хмарні обчислення. У статті розглянуто сучасний стан та перспективи застосування технологій Інтернету речей в гідрометеорологічній діяльності, зокрема, в роботі гідрометеорологічних організацій Державної служби України з питань надзвичайних ситуацій, з метою підвищення якості гідрометеорологічних продукції та послуг. Поява Інтернету речей стала новим кроком у застосуванні Інтернету та Веб-технологій і дозволило перейти від статичної мережі до динамічного набору пристроїв усіх типів і розмірів, які використовують електроніку, програмне забезпечення, датчики та мережеве з'єднання. Запропоновано рекомендації щодо посилення роботи з впровадження цієї перспективної інформаційної технології в практику проведення інструментальних спостережень, збору та оброблювання даних, а також обслуговування користувачів. Рекомендації передбачають вирішення низки технологічних, організаційних та правових питань. Перехід на нову технологію слід здійснювати поетапно у міру удосконалення елементної бази датчиків, збільшення швидкості та надійності каналів зв'язку. Найбільш оптимальним варіантом рішення може стати програмно-цільовий підхід, в основі якого лежатиме комплексна програма технологічного розвитку гідрометеорологічної служби на період до 5 років. Це дозволить розглядати розвиток інформаційних технологій в контексті з розвитком інших напрямків діяльності гідрометеорологічної служби: технічним переоснащенням мереж спостережень; удосконаленням управління служби в цілому та її окремих ланок; зміцненням її матеріально-технічної бази та кадрового потенціалу тощо.

Ключові слова: гідрометеорологічна інформація, спостереження, збирання даних, інформаційні технології, Інтернет речей, обслуговування користувачів, удосконалення.

1. ВСТУП

Світова практика свідчить про зростаючу роль гідрометеорологічної інформації, прогнозів та попереджень у сучасному суспільстві. Так, за даними Бюро зі зниження ризику стихійних лих ООН за період з 1995 по 2015 роки від стихійних лих, обумовлених погодними факторами, загинуло близько 606 тис. людей, а близько 4,1 млрд. людей втратили своє майно та отримали каліцтва. Економічні збитки (без врахування збитків, що понесли пам'ятники культури та природи) склали близько 1,89 трильйонів доларів США [1]. У щорічному звіті Всесвітньої метеорологічної організації (далі – ВМО) за 2016 рік [2] наведені дані, що 97 % природних стихійних лих, які відмічались в 2015 році, були обумовлені метеорологічними та гідрологічними

чинниками та призвели до матеріальних збитків (без врахування людських жертв) на суму близько 97 млрд. доларів США.

Несприятливі гідрометеорологічні явища (зливи, снігопади, шквали, засухи, річкові повені, різкі зміни погоди тощо) щорічно завдають значної шкоди галузям економіки та населенню України. Сільське, водне, лісове господарство, енергетика, всі види транспорту, будівництво та комунальне господарство, рекреаційна та туристична галузі, системи зв'язку і збройні сили не можуть нормально функціонувати без своєчасної та якісної інформації про фактичні та очікувані гідрометеорологічні умови в атмосфері та водному середовищі, яку надають гідрометеорологічні організації Державної служби України з надзвичайних ситуацій

(далі – ДСНС України).

Зазначимо, що чим розгалуженіша та складніша в організаційному та технологічному відношеннях інфраструктура погодо-залежних галузей економіки, чим більш інтегровані в сучасне інформаційне середовище пересічні громадяни, тим більші вимоги вони висувають до повноти, своєчасності, точності, а також зручності отримання інформації, прогнозів та попереджень від гідрометеорологічних організацій. Це зумовлює необхідність постійного удосконалення якості гідрометеорологічного обслуговування.

Актуальність цього напрямку діяльності національних гідрометеорологічних служб зафіксовано в Стратегії ВМО з надання обслуговування (далі – Стратегія), схвалений 16-ю сесією Всесвітнього метеорологічного конгресу в 2011 році та в Плані з імплементації зазначеної Стратегії (далі – План імплементації), схваленому в 2013 році 65-ю сесією Виконавчої ради ВМО [3]. Основною метою Стратегії задекларовано «...сприяння національним метеорологічним і гідрологічним службам у підвищенні стандартів в наданні продукції та обслуговування користувачам...». План імплементації вміщує методологію, яка дає можливість національним гідрометеорологічним службам оцінити існуючий рівень гідрометеорологічного обслуговування, а в разі необхідності, розробити та впровадити більш досконалі методи та технології обслуговування.

Удосконалення гідрометеорологічного обслуговування є першочерговим завданням гідрометеорологічних організацій ДСНС України. Заходи з цього напрямку діяльності можна поділити на організаційні (удосконалення нормативно-правової бази та управління гідрометеорологічною діяльністю, зміцнення кадрового потенціалу, забезпечення належного фінансування тощо) та науково-технологічні (впровадження досягнень сучасної науки та технологій в спостереження, передачу та оброблювання даних, гідрометеорологічне прогнозування та представлення продукції кінцевим користувачам).

Цією статтею автори започатковують низку публікацій, в яких буде узагальнено сучасні світові тенденції в розвитку гідрометеорологічного обслуговування, які спираються на досягнення науки і технологій з метою розроблювання рекомендацій щодо їх впровадження в практику роботи гідрометеорологічних організацій ДСНС України.

Метою цієї статті є узагальнити сучасний стан та перспективи застосування в гідрометеорологічних службах, зокрема, в гідрометеорологічних організаціях ДСНС України, концепції Інтернету речей, одного з напрямків інформаційних технологій, який стрімко розвивається в останньому десятиріччі і знаходить все більш широке застосування в гідрометеорології.

Вибір цієї тематики для статті обумовлено наступним:

- розвиток методів гідрометеорологічних спостережень та прогнозування, а також розвиток комунікаційних та комп'ютерних технологій тісно пов'язані між собою і є запорукою створення ефективної системи управління ризиками надзвичайних ситуацій гідрометеорологічного походження, яка спирається на три базові принципи – раннє виявлення, раннє попередження та раннє реагування;

- за останні 10-15 років спостерігається стрімкий розвиток застосування інформаційних технологій в багатьох сферах діяльності суспільства;

- інформаційні технології є рушійним чинником, який впливає на всі напрямки діяльності гідрометеорологічних організацій: вимірювання гідрометеорологічних параметрів; передачу даних вимірювань в центри їх оброблювання та прогнозування; управління великими обсягами інформації; прогнозування очікуваних гідрометеорологічних умов; доведення продукції до кінцевих користувачів;

- застосування сучасних інформаційних технологій є одним з найбільш «слабких» місць в роботі гідрометеорологічних організацій ДСНС України.

Питання застосування Інтернету речей в гідрометеорологічних службах в основному розглядається в публікаціях авторів із Західної Європи, США, Китаю, Австралії [4-9], тобто країн, де гідрометеорологічні служби характеризуються високим рівнем технологічного оснащення мереж спостережень, включаючи наявність розгалуженої мережі автоматичних гідрометеорологічних станцій. З вітчизняних публікацій відмітимо статтю [10], у якій розглянуто питання створення системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі Інтернету речей.

Автори сподіваються, що стаття буде корисною для подальшого розроблювання заходів з технологічного розвитку всіх ланок діяльності гідрометеорологічних організацій ДСНС України.

Статтю підготовлено за результатами:

- досліджень з питання: «Перспективні технологічні рішення в гідрометеорологічних спостереженнях, прогнозуванні та обслуговуванні», виконаних в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України (далі УкрГМІ) та Українському гідрометеорологічному центрі (далі – УкрГМЦ);

- аналізу відповідних матеріалів, розміщених на офіційному сайті ВМО, а також на сайтах ряду національних гідрометеорологічних служб;

- опрацювання низки публікацій, присвячених розгляду цього питання.

Перелік використаних бібліографічних джерел наведено у списку літератури.

2. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

2.1 Визначення терміну «гідрометеорологічне обслуговування»

У статті 1 «Терміни та визначення» Закону України «Про гідрометеорологічну діяльність» є два визначення діяльності з надання гідрометеорологічних послуг та продукції кінцевим користувачам [11].

Під терміном «гідрометеорологічне забезпечення» розуміють: «...діяльність органів національної гідрометеорологічної служби, спрямовану на обов'язкове і систематичне доведення гідрометеорологічної інформації загально-го користування, а також термінової гідрометеорологічної інформації до органів державної влади, органів місцевого самоврядування та населення...». Термін «гідрометеорологічне обслуговування» закон України визначає як процес «...надання користувачам за плату на договірних засадах гідрометеорологічної та іншої інформації...».

У публікації ВМО [3] використано лише один термін – «обслуговування» (англійською мовою – «service»), під яким розуміють продукцію, яку надають, а також діяльність, яка пов'язана з людьми, процесами та інформаційними технологіями, необхідними для надання продукції, або діяльність (наприклад консультації), яку здійснюють щоб задовольнити потреби користувачів. Бачимо, що термін, наведений в публікаціях ВМО, «поглинає» обидва визначення процесу надання продукції та послуг як на безоплатній основі, так і у вигляді платних послуг.

У цій статті під «гідрометеорологічним обслуговуванням» (англійською мовою – «hydrometeorological service») ми розуміємо надання гідрометеорологічної продукції

(інформації, прогнозів, попереджень, результатів наукових досліджень тощо) кінцевим користувачам як безкоштовно, так і за плату на договірних засадах.

2.2 Інтернет речей та його застосування в гідрометеорології

Інтернет речей (англійською мовою – «Internet of things» або IoT) та можливості, які відкриває його застосування в різних сферах суспільного життя, зараз стали однією з найбільш «топових» тем публікацій не лише в царині інформаційних технологій, але й інших технологій, які передбачають проведення вимірювань засобами вимірювальної техніки (далі – датчиками), об'єднаними в мережу, обмін даними вимірювань та їх використання для задоволення потреб суспільства.

Автори не мали за мету зупинитись на історії формулювання та становлення концепції Інтернету речей та її впровадження в практику. Бажаючі можуть ознайомитись з цим у відповідній літературі, наприклад, в [12]. Ми лише обмежимося наданням інформації, яка допоможе більш предметно викласти основні задачі публікації, які пов'язані з удосконаленням гідрометеорологічного обслуговуванням користувачів в Україні.

Згідно найбільш розповсюдженішому формулюванню, Інтернет речей – це концепція обчислювальної мережі фізичних об'єктів (речей), які оснащені певними технологіями для взаємодії між собою. Тобто, це мережа фізичних об'єктів, які оснащені датчиками та засобами передачі інформації та підключені до Інтернету. Всі об'єкти з'єднані шляхом підключення до центрів контролю, управління та оброблювання інформації. Зауважимо, що кінцевою метою реалізації концепції Інтернету речей розглядають можливість функціонування об'єктів, об'єднаних в мережу, *без участі людини*. Саме останнє положення визначає відмінності між просто «мережею датчиків» та «мережею Інтернету речей», а також висуває вимоги до технологій, надійності та безпеки функціонування мережі Інтернету речей.

Гідрометеорологія як наука, так і практична діяльність, пов'язана із задоволенням потреб суспільства, з самого початку свого становлення спиралась на дані вимірювань, які проводять на мережах спостережень за допомогою датчиків – аналогових або цифрових. Створення інтегрованих мереж гідрометеорологічних датчиків пов'язано з появою автоматизованих

метеорологічних реєстраторів, які записували дані у визначені інтервали часу та вимагали обслуговування людини. Одним з найперших прикладів застосування аналогового автоматизованого реєстратора в гідрометеорології був паперовий самописець барометричного тиску [5].

Новий етап у гідрометеорологічних спостереженнях почався з появою автоматичних метеорологічних станцій, у складі яких функціонувало декілька датчиків, що вимірювали низку метеорологічних параметрів. У роботі [5] відмічають, що перша така станція була встановлена в 1939 році за підтримки Бюро авіації ВМФ США. Вона являла собою металевий ящик розміром 2 м x 2 м x 2 м, важила одну тону та споживала 1000 Вт електроенергії. Роботу станції забезпечував бензиновий генератор. Для передачі даних вимірювань використовували радіозв'язок.

Протягом 1970 – 1980-х років у національних гідрометеорологічних службах почали створювати мережі, які об'єднували автоматичні засоби вимірювальної техніки та забезпечували передачу даних вимірювань в центри збору та оброблення інформації. Зауважимо, що подібні інтегровані системи вимірювань та передачі інформації створювали також в інших сферах діяльності, пов'язаній з проведенням вимірювань параметрів, які характеризують стан навколишнього природного середовища. Це дало підставу в ряді публікацій назвати такі системи – «мережі датчиків навколишнього середовища» [5].

Система збору даних з мережі спостережень забезпечувала інтеграцію різноманітних каналів зв'язку, таких як радіоканали, комутовані та не комутовані телефонні лінії, супутникові та канали стільникового зв'язку. У 1990-і роки для передачі даних спостережень в районах з розвинутою телекомунікаційною системою, у тому числі, в Україні, почали використовувати мережу Інтернет з підключенням через мережі стільникового зв'язку або з використанням технологій «xDSL».

Таким чином, в загальному вигляді мережа датчиків навколишнього середовища функціонально складається з двох основних структурних частин: масиву вузлів датчиків та системи комунікації (рис. 1). Причому, можливі два варіанти передачі даних на сервер мережі: за командою, яка подається з центру збору даних на вузли датчиків; датчики передають дані в автономному режимі.

Інформацію, отриману з мережі спостережень гідрометеорологічної служби, дані, отримані з

інших джерел, а також гідрометеорологічну продукцію (прогнози, попередження тощо) розміщують на відповідних сайтах. Зокрема, в Україні це сайти Українського гідрометеорологічного центру, Центральної геофізичної обсерваторії та обласних центрів з гідрометеорології ДСНС України, а також комерційні гідрометеорологічні сайти. Споживачі за допомогою віддаленого доступу можуть отримати гідрометеорологічну інформацію про фактичні та очікувані гідрометеорологічні умови.

Описаний принцип побудови мережі датчиків навколишнього середовища досяг піку свого застосування в кінці 1990-х років, а функціональні специфікації такої мережі відповідали тогочасним технологічним досягненням в розроблюванні датчиків та використанні Інтернет – технологій. Цій мережі датчиків були властиві дві особливості: вона не могла функціонувати без участі людей (працівників гідрометеорологічної служби та розробників датчиків), які її будували, задавали алгоритми її функціонування, брали участь в процесі її управління; кінцевий користувач залишався пасивним споживачем даних і не брав участі у визначенні функціональних специфікацій мереж спостережень.

На початку 2000-х років стало зрозуміло, що існуючі на той час принципи проектування мереж датчиків вже не відповідали новим досягненням в гідрометеорологічному приладобудуванні та Інтернет-технологіях. Нові гідрометеорологічні датчики мали більш потужні обчислювальні можливості, при цьому вони стали значно менші за розміром та використовували менше електроенергії, тобто вони більше не були обмежені великим капітальним обладнанням та виробничою інфраструктурою. Більш того, прогрес в автоматизації спостережень показав можливість забезпечення функціонування мереж датчиків без, або з мінімальним втручанням людей. Нові технології вимірювань обумовили стрімке зростання об'єму отриманих гідрометеорологічних даних, формуванню так званих «Великих даних» (англ. - «Big Data»).

Іншим ключовим фактором, який стимулював впровадження нових принципів побудови мереж датчиків стало швидке розширення національного та міжнародного мобільного стільникового покриття, зменшення вартості та збільшення географічного покриття послуг, які надають комерційні супутникові провайдери.

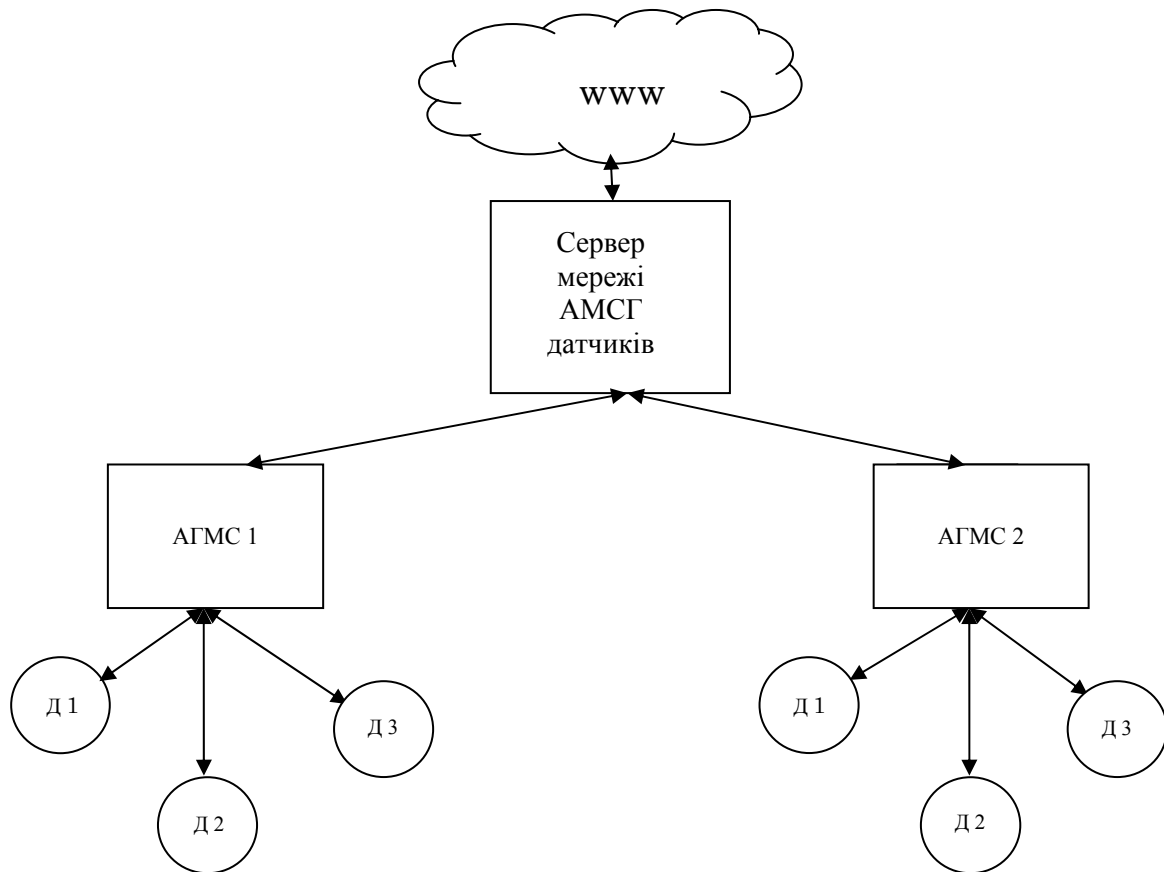


Рис. 1 – Схематичне зображення мережі датчиків навколишнього середовища: АГМС 1...2 – автоматичні гідрометеорологічні станції; Д 1...3 – датчики; www – Інтернет.

Різко зріс попит на інформаційні послуги, які надають на мобільні пристрої, наприклад в соціальних мережах, з додатками, орієнтованими на дані про навколишнє середовище, у тому числі, гідрометеорологію. Поява Інтернету, зокрема Web2-технології, значно розширило можливості гідрометеорологічних служб щодо збору в режимі реального часу первинної інформації з мереж спостережень, а також щодо можливостей надання гідрометеорологічних послуг різним групам користувачів, так як особливістю цієї технології є широке залучення користувачів до створення та використання контенту.

Поява ж Інтернету речей стало новим кроком у застосуванні можливостей Інтернету та Web-технологій, що дозволило перейти від мережі статичних комп'ютерів до динамічного масиву пристроїв усіх типів та розмірів, у якому вбудовано електроніку, програмне забезпечення, датчики та мережеве підключення. Це дало можливість цим пристроям збирати і

обмінюватись даними. Ці пристрої можуть без втручання людини приймати рішення, тобто стати компонентами процесу складного обслуговування.

Схематично такий ланцюжок збирання, оброблювання даних, створення гідрометеорологічної продукції та її доведення до кінцевого користувача зображено на рис. 2. У цьому випадку користувач вже не є пасивним споживачем гідрометеорологічної продукції, він разом з фахівцями гідрометеорологічної служби та розробниками приладів стає учасником всього процесу.

Розширення практичного застосування Інтернету речей в гідрометеорології пов'язують з двома ключовими чинниками: появою можливостей «Хмарних обчислень» та переходом Інтернету на протокол IPv6 з його майже не обмеженою пропускнуою здатністю. Це відкриває нові можливості в управлінні в режимі реального часу великими обсягами

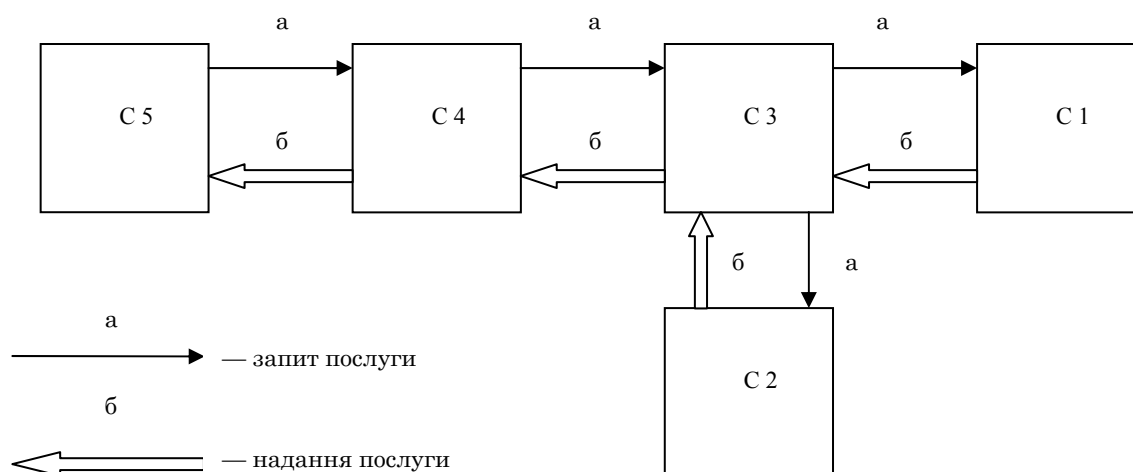


Рис. 2 – Схематичне зображення системи гідрометеорологічного обслуговування користувачів на основі реалізації концепції Інтернету речей: C1...C5 – окремі сегменти системи: 1 – дані спостережень з мережі гідрометеорологічної служби; 2 – дані, що надходять з інших джерел (дані з мереж інших відомств, супутникові дані, міжнародний обмін тощо); 3 – база даних (цифрових, текстових, графічних тощо); 4 – сервер гідрометеорологічної продукції (поточна та узагальнена інформація, прогнози, попередження, консультації тощо); 5 – кінцевий споживач гідрометеорологічного обслуговування.

потоків даних гідрометеорологічних спостережень і, що дуже важливо, в керуванні таким пристроєм, який підключено до мережі Інтернету речей. Це дозволяє забезпечити надання якісних гідрометеорологічних послуг користувачам на стаціонарні або мобільні приймальні пристрої в режимі реального часу з високою часовою роздільною здатністю.

Таким чином, інформаційне середовище Інтернету речей зумовлює «технологічну революцію» всього ланцюжка гідрометеорологічного обслуговування, від проведення первинних вимірювань гідрометеорологічних параметрів до створення гідрометеорологічної продукції та постачання останньої користувачам відповідно до їх вимог, які можуть постійно коригуватись.

Зупинимось на прикладах застосування технології Інтернету речей в метеорологічних службах деяких країн.

Протягом останніх років значних успіхів у впровадженні цієї технології досягнуто метеорологічною службою Китаю [7], де ця технологія розвивається паралельно з розвитком мережі автоматичних метеорологічних станцій, в архітектурі яких передбачено функціонування технології Інтернету речей. Такий підхід забезпечує поєднання в метеорологічній станції досягнень в приладобудуванні та інформаційних технологіях: інтелектуальних датчиків з можливістю самоколібрування та самотестування; низьке спо-

живання електроенергії; бездротову передачу даних; ефективний контроль робочого стану обладнання, його обслуговування та захист. Такі технічні рішення дозволяють отримувати якісні метеорологічні дані також в складних природних умовах, наприклад в гірських регіонах із значним градієнтом перепаду висот [8]. Дані спостережень цих станцій застосовують як безпосередньо в метеорологічній службі для складання прогнозів та проведення наукових досліджень, так і для передачі інформації на мобільні пристрої широкому колу користувачів.

З іншої сторони застосування Інтернету речей створює можливості щодо залучення користувачів продукції гідрометеорологічних служб до надання додаткової інформації про гідрометеорологічні умови.

Так, наявна щільність автоматичних метеорологічних станцій у Великій Британії не задовольняє вимогам чисельних методів прогнозування погоди, які використовує метеорологічна служба Великої Британії [6]. Тому, для збільшення об'єму даних про метеорологічні параметри за метеорологічній службі за допомогою технології Інтернету речей збирає дані з мереж спостережень учбових закладів, приватних підприємств, а також з датчиків, встановлених на транспортних засобах та пристроях мобільного зв'язку окремих громадян.

У Франції такий додатковий обсяг метеорологічної інформації, який отримує метеорологіч-

на служба цієї країни складає близько 15000 повідомлень в день, збільшуючись до 40000 повідомлень в день під час формування та проходження екстремальних гідрометеорологічних явищ [9].

Безумовно, використання додаткової інформації в прогнозуванні метеорологічних умов вимагає наявності методів та програмних засобів для оцінювання репрезентативності цих даних, розроблюванню яких метеорологічні служби цих країн приділяють велику увагу.

Разом з тим, сам процес впровадження Інтернету речей в практичну роботу гідрометеорологічних служб, як показує досвід останніх, в цілому має не «революційний», а «еволюційний» характер, що обумовлено необхідністю поетапного вирішення низки організаційних та технологічних питань.

Це добре ілюструє стаття [4], у якій йде мова про досвід організації робіт із впровадження технології Інтернету речей в метеорологічній службі Австралії. Для цього Австралійське бюро метеорології створило мультидисциплінарну робочу групу з фахівців у галузі методів та технологій проведення вимірювань, телекомунікацій, управління даними, захисту інформації.

Робоча група запропонувала концепцію «економічно ефективного» впровадження та наступного застосування технології Інтернету речей, одним з ключових положень якої є висновок, що еволюційний характер розвитку цієї технології вимагає прийняття (особливо на ранніх етапах робіт) швидких та гнучких технічних рішень, які можна буде в наступному корегувати відповідно до нових вимог користувачів та переваг нових технологій.

На нашу думку, ці положення важливо врахувати при розроблюванні планів та програм розвитку технології Інтернету речей в гідрометеорологічних організаціях ДСНС України.

2.3 Щодо впровадження концепції Інтернету речей в гідрометеорологічних організаціях ДСНС України

Як відмічалось вище, рівень застосування в гідрометеорологічних організаціях ДСНС України сучасних інформаційних технологій, який би відповідав концепції Інтернету речей, відстає від потреб сьогодення та практики технологічно розвинутих гідрометеорологічних служб інших країн. Зазначимо, що таке відставання характерне також для всієї системи гідрометеорологічних спостережень та обслуговування користувачів. Так, менш ніж 30 %

пунктів метеорологічних спостережень оснащені автоматизованими метеорологічними станціями, а рівень оснащення автоматизованими засобами вимірювальної техніки пунктів гідрологічних спостережень ще нижчий. Це зумовлює необхідність розгляду питання впровадження технології Інтернету речей разом з вирішенням питання технологічного розвитку гідрометеорологічної служби в цілому в рамках комплексної програми, яка передбачає скоординовані у часі технологічні та організаційні рішення.

Вирішити цю проблему можливо лише із залученням різнопрофільних фахівців, які мають досвід роботи з приладобудування, телекомунікацій, кодування, передачі та оброблювання великих обсягів даних, Інтернет технологій, зокрема, забезпечення безпеки функціонування мереж передачі даних. Важливою в сучасних умовах є здатність швидко оцінювати переваги та недоліки нових технологій та розроблювати прийнятні технологічні рішення без значних накладних витрат на проект. Зокрема, зважаючи на еволюційний характер проектів, запропоновані рішення повинні передбачати можливість вносити швидкі та гнучкі зміни впродовж пізніших етапів реалізації цих проектів.

Нижче автори висловлять своє бачення деяких ключових положень, які слід врахувати при створенні системи гідрометеорологічних спостережень і обслуговування користувачів, основаної на технології Інтернету речей. При цьому конкретні апаратні, програмні та комунікаційні рішення, які повинні забезпечити функціонування системи, не розглядатимуться. Вони повинні бути визначені на стадії формування технічного завдання на розроблювання системи.

У загальному вигляді система повинна відповідати таким вимогам:

- забезпечувати інтеграцію різних за характеристиками пристроїв, мереж та даних;
- надавати можливість опрацьовувати дані, які є різними за об'ємом, швидкістю надходження, мінливістю та достовірністю;
- забезпечувати надійну комунікацію між датчиками, технологічними вузлами у складі гідрометеорологічної служби та користувачами (пряму і зворотню), у тому числі, вирішення проблеми вразливості комунікацій «останньої милі»;
- забезпечувати масштабованість для роботи з великою кількістю пристроїв, великим б'ємом різних за характером даних, а також для вико-

нання складних обчислювань;

- здійснювати оброблювання та інтелектуальний аналіз великих об'ємів даних в «хмарних» системах;

- забезпечувати можливість надання гідрометеорологічної продукції кінцевому користувачеві на мобільні пристрої в режимі реального часу;

- забезпечувати збереження цілісності даних, їх безпеку та цільове використання;

- врахувати такі фактори як габарити датчиків, інших технічних пристроїв, їх вартість та енергоспоживання;

- мати можливість оперативно вносити зміни в апаратну та програмну частину системи, які враховують нові досягнення в технологіях вимірювань, збирання, оброблювання та представлення даних, а також зростаючі потреби користувачів з різних сфер суспільного життя. Причому, система повинна функціонувати в «перехідні» періоди, використовуючи як нові, так і існуючі технічні рішення. Перехід на нову технологію слід здійснювати поетапно у міру удосконалення елементної бази датчиків, збільшення швидкості та надійності каналів зв'язку. Схему побудови мережі спостережень

у перехідний період зображено на рис. 3, де датчики нижнього рівня матимуть можливість прямого «спілкування» з єдиною базою даних, а також отримувати команди через Інтернет.

Відзначимо, що саме в такому напрямку зараз проводять розроблювання метеорологічних датчиків для гідрометеорологічних організацій в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України.

Вимагатимуть опрацювання також правові питання щодо використання даних, зокрема:

- умови використання даних, які надходять від «третіх» сторін;

- авторські права на дані, які надходять з інших джерел, в тому числі із середовища «хмарних» обчислень;

- умови (у тому числі – фінансові) використання користувачами кінцевої гідрометеорологічної продукції, а також вклад «третіх» сторін в цю продукцію.

Найбільш оптимальним варіантом врахування зазначених положень може стати програмно-цільовий підхід, в основі якого лежатиме комплексна програма технологічного розвитку гідрометеорологічної служби на період до 5 років. Заходи із створення сучасної системи

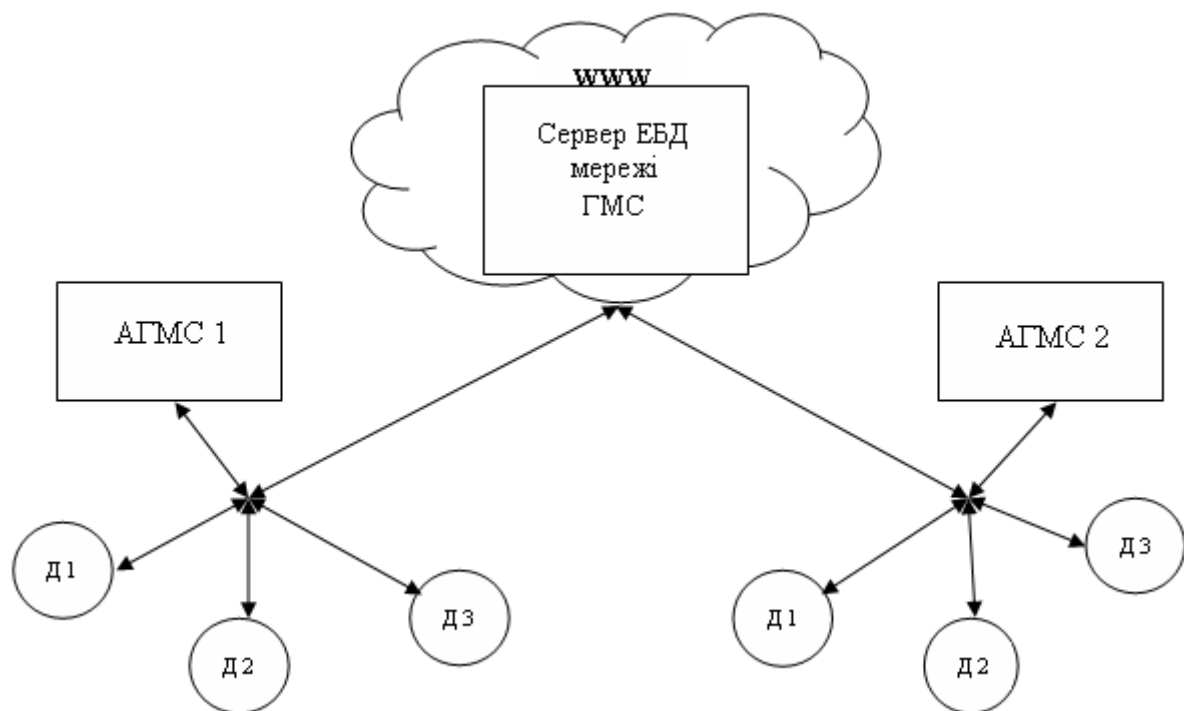


Рис. 3 – Схематичне зображення мережі датчиків навколишнього середовища у перехідний період: АГМС 1...2 – автоматичні гідрометеорологічні станції; Д 1...3 – датчики; www – Інтернет.

гідрометеорологічного обслуговування на основі концепції Інтернету речей повинні увійти до програми як один з її розділів. Програмно-цільовий підхід дозволить розглядати можливий розвиток інформаційних технологій в контексті з розвитком інших напрямків діяльності гідрометеорологічної служби: технічним переснащенням мереж спостережень; удосконаленням управління служби в цілому та її окремих ланок; зміцненням її матеріально-технічної бази та кадрового потенціалу тощо.

3. ВИСНОВКИ

Досягнення в розроблюванні засобів гідрометеорологічної вимірювальної техніки, а також у сфері застосування інформаційних технологій дозволяють значно підвищити ефективність гідрометеорологічного обслуговування користувачів за рахунок збільшення швидкості та підвищення зручності доступу користувачів до гідрометеорологічної продукції, а також розширення переліку та якості цієї продукції. Сучасні користувачі гідрометеорологічної продукції мають доступ до мобільних пристроїв, Інтернету, Google, Facebook, Twitter та ін. Щоб відповідати вимогам сьогодення гідрометеорологічні організації ДСНС України повинні це враховувати при розвитку мереж спостережень, систем збирання, оброблювання інформації та гідрометеорологічного обслуговування.

У статті показано необхідність інтенсифікації діяльності із впровадження концепції Інтернету речей в практику гідрометеорологічного обслуговування користувачів в рамках комплексної програми технологічного розвитку всієї системи гідрометеорологічних спостережень, збирання та оброблювання інформації, підготовки гідрометеорологічної продукції та обслуговування, орієнтованого на конкретні запити кінцевих споживачів. Розглянуто ключові положення, які необхідно бути вирішити в процесі впровадження концепції Інтернету речей в практику гідрометеорологічного обслуговування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. The Human cost of weather-related disasters - 1995-2015 / UN Report. 2015. URL: <https://unisdr.org/archive/46793>. (Accessed 01.08.2018)
2. 2016 Highlights / WMO Annual Report. No 1190. 2017. URL: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1129.pdf. (Accessed 01.08.2018)
3. WMO Strategy for service delivery and its implementation plan / WMO. No 1129. 2014. URL: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1129.pdf. (Accessed 01.08.2018)

4. Vinluan B., Hodge B. Implementing fast-track methodologies in IoT-based technology development for the meteorological community: a multidisciplinary approach. *Proc. WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation*. Madrid, Spain, 2016. URL: <https://www.wmo.int/pages/prog/www/CIMO>. (Accessed 01.08.2018)
5. Hart J. F., Martinez K. Toward an environmental Internet of things. *AGU on-line Publications: Earth and Space Science*. 2015. 2. <https://www.doi.org/10.1002/2014EA000044>.
6. Molyneux M., Jones R. Concept development of an Internet of things surface. *Proc. WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation*. Madrid, Spain, 2016. URL: <https://www.wmo.int/pages/prog/www/CIMO>. (Accessed 01.08.2018)
7. Jianyum Ch., Yunfam S., Chunyam L. Research on application of automatic weather station based on IoT. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2017. 104. <https://www.doi.org/10.1088/1755-1315/104/1/01>.
8. Hongwei J., Ning L., Lixin S., Linxiang Yu. An IoT automatic station for gradient observation of microclimate in mountain profile. *Proc. WMO International Conference on Automatic Weather Stations*. Offenbach am Main, Germany. 2017. URL: <https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/AWS-conference>. (Accessed 21.02.2019)
9. Mallet É., Al Ali S., Lavanant M., Le Bloa G. Crowdsourcing and IoT at Meteo France. *Proc. WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation*. Amsterdam, Netherlands. 2018. URL: https://www.wmocimo.net/wp-content/uploads/P4_20_Mallet_abstract_CIMO-TECO_2018. (Accessed 21.02.2019)
10. Створення інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі технології «Інтернет речей» / Мокін В. Б. та ін. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. № 3. С. 49-58.
11. Закон України «Про гідрометеорологічну діяльність» від 18 лютого 1999 № 443-XIV (зі змінами, внесеними згідно із Законами від 19.01.2006 № 3370-IV, від 17.05.2012 № 4731 - VI, від 16.10.2012 № 5459 - VI, від 28.12.2014 № 77 - VIII, від 18.01.2018. № 2269 - VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 1999. №16. 95 с.
12. Ince D. A. A dictionary of the Internet. Third edition. Oxford University Press, 2013. URL: <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780191744150.001.0001>. (Accessed 01.08.2018)

REFERENCES

1. UN Report. (2015). *The Human cost of weather-related disaster - 1995-2015*. Available at: <https://unisdr.org/archive/46793>. (Accessed 01.08.2018)
2. WMO Annual Report. No 1190. (2017). *2016 Highlights*. Available at: <https://library.wmo.int/opac/index.php>. (Accessed 01.05.2018)
3. WMO. No 1129. (2014). *WMO Strategy for service delivery and its implementation plan*. Available at: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1129.pdf. (Accessed 01.08.2018)
4. Vinluan, B. & Hodge, B. (2016). Implementing fast-track methodologies in IoT-based technology development for the meteorological community: a multidisciplinary approach. *Proc. WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation*. Madrid, Spain. Available at: <https://www.wmo.int/>

- [pages/prog/www/CIMO](#). (Accessed 01.08.2018)
5. Hart, J.F. & Martinez, K. (2015). Toward an environmental internet of things. *AGU on-line Publications: Earth and Space Science*, 2. <https://www.doi.org/10.1002/2014EA000044>.
 6. Molyneux, M. & Jones, R. (2016). Concept development of an Internet. *Proc. WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation*. Madrid, Spain. Available at: <https://www.wmo.int/pages/prog/www/CIMO>. (Accessed 01.08.2018)
 7. Jianyum, Ch., Yunfam, S. & Chunyam, L. (2017). Research on application of automatic weather station based on IoT. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 104. <https://www.doi.org/10.1088/1755-1315/104/1/01>.
 8. Hongwei, J., Ning, L., Lixin, S. & Linxiang, Yu. (2017). An IoT automatic station for gradient observation of microclimate in mountain profile. *Proc. WMO International Conference on Automatic Weather Stations*. Offenbach am Main, Germany. Available at: <https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/AWS-conference>.
 9. Mallet, É., Al Ali, S., Lavanant, M. & Le Bloa, G. (2018). Crowdsourcing and IoT at Meteo France. *Proc. WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation*. Amsterdam, Netherlands. Available at: https://www.wmocimo.net/wp-content/uploads/P4_20_Mallet_abstract_CIMO-TECO_2018. (Accessed 21.02.2019).
 10. Mokin, V.B. et al. (2017). [Creation of the atmosphere air pollution monitoring information system on basis of IoT technology]. *Visnik Vinnits'kogo politehnichnogo institutu [Bulletin of the Vinnitsa Politechnic Institute]*, 3, pp. 49-58. (in Ukr.)
 11. Zakon Ukrainy pro hidrometeorologichnu diialnist, 18.02.1999, no. 443-XIV [Law of Ukraine on Hydrometeorological Activity, 18.02.1999, no. 443- XIV]. (1999). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy [Bulletin of Supreme Council of Ukraine]*, 16.
 12. Ince, D. (2013). *A dictionary of the Internet. Third edition*. Available at: <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780191744150.001.0001>. (Accessed 01.08.2018)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Манукало В. А.¹,
Кульбида Н. И.², Иванов Б. А.¹

¹ Украинский гидрометеорологический институт,
03028, м. Киев, проспект Науки, 37. manukalo@ukr.net

² Украинский гидрометеорологический центр,
01601, м. Киев, ул. Золотоворотская 6-Б

В статье рассмотрено современное состояние и перспективы использования технологии Интернета вещей в гидрометеорологической деятельности, в частности, в работе гидрометеорологических организаций ГСЧС Украины, с целью повышения качества гидрометеорологических продукции и услуг, которые предоставляются пользователям. Предложено рекомендации по усилению работы с внедрения этой перспективной информационной технологии в практику проведения инструментальных измерений, сбора и обработки данных, а также обслуживания пользователей. Переход на новую технологию следует осуществлять поэтапно по мере совершенствования элементной базы датчиков, увеличения скорости и надежности каналов связи. Оптимальным вариантом решения может стать программно-целевой подход, в основу которого будет положено комплексную программу развития гидрометеорологической службы. Это позволит рассматривать развитие информационных технологий вместе с развитием других направлений деятельности гидрометеорологической службы: техническим переоснащением сетей наблюдений, совершенствованием управления службой в целом и отдельных ее звеньев, укреплением материально-технической базы и кадрового потенциала.

Ключевые слова: гидрометеорологическая информация, наблюдения, сбор данных, информационные технологии, Интернет вещей, обслуживание потребителей, совершенствование.

IMPROVING THE HYDROMETEOROLOGICAL SERVICE OF USERS BASED ON APPLICATION OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

Manukalo V. O.¹, Kulbida M. I.², Ivanov B. O.¹

¹ Ukrainian Hydrometeorological Institute
03028, Kyiv, Nauki av., 37, manukalo@ukr.net

² Ukrainian Hydrometeorological Center
01601, Kyiv, 6 Zolotovoritska str.

Improving the quality of hydrometeorological products and services for different categories of end users today is the most important task of the Hydrometeorological Service of Ukraine. Implementation of these measures involves a widespread use of modern technologies of hydrometeorological measurements as well as information and computing technologies such as Internet of Things, Big Data, Cloud Computing. The paper studies the current state and prospects of Internet of Things (IoT) application in hydrometeorological activities, particularly, in the work of hydrometeorological organizations of the State Emergency Service of Ukraine, in order to improve the quality of hydrometeorological products and services. Emergence of IoT became a new step in Internet and Web technologies use and ensured transition from static network to dynamic array of devices of all types and sizes employing electronics, software, sensors and network connectivity. It offers recommendations for intensifying the efforts aimed at implementation of this promising information technology into routine instrumental measurements, data collection and processing, as well as delivery of services to users. The recommendations present solutions to a number of technological, organizational and legal problems. Transition to a new technology should be carried out in stages and in the course of sensors and devices improvement, increase of speed and a reliability of communication channels. The most optimum solution may include a program-target approach based on a comprehensive program of development of the Hydrometeorological Service for the period of up to 5 years. This approach will make it possible to consider development of information technologies in a close relation with development of other activities of the Hydrometeorological Service: technical re-equipment of observation networks, improvement of the Hydrometeorological Service management as a whole and with regard to its separate units; strengthening its material and technical base, personnel potential etc.

Key words: hydrometeorological information, observations, data collection, information technologies, IoT, delivery of services to users, improvement.

Подання до редакції : 29. 11. 2018
Надходження остаточної версії : 13. 03. 2019
Публікація статті : 30. 05. 2019

УДК 551.58

ЗОНЫ ИНТЕНСИВНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НАД СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКОЙ, ПОВЕРХНОСТЬ 700 ГПА, НОЯБРЬ

Э. Н. Серга, И. Н. Серга

Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, Serga_ed@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6470-8540>

Предлагаются схемы районирования полей главных компонент векторов состояний гидрометеорологических характеристик на высотах поверхности 700 гПа над акваторией Северной Атлантики. Для районирования применён алгоритм УИМКД (Универсальный итерационный метод кластеризации данных). Представлен физико-статистический анализ распределения параметров энергетического состояния воздуха обоснованный с научной точки зрения. Показано, что в пространственном распределении первой компоненты однородные зоны являются крупномасштабными. Зоны в распределениях второй и третьей главных компонент имеют значительно меньший масштаб и множественный характер. Кластеры характеризуются процессами различной интенсивности.

Ключевые слова: атмосфера, температура воздуха, вихрь скорости, Северная Атлантика, поверхность 700 гПа, репрезентативный вектор, кластер, весовая нагрузка, главная компонента.

1. ВВЕДЕНИЕ

Выявленные океанские энергоактивные зоны (например, сезонные, циклические) во многом описаны в современной научной литературе [например, 1, 2, 3]. Они характеризуются повышенными значениями потоков тепла и влаги. Проявление подобных зон на различных высотах в атмосфере, их характеристики, имеют только общее представление, связанное с энергетикой процессов в атмосфере. Однако изучение динамики границ указанных зон в результате климатических изменений, усиления (ослабления) интенсивности процессов, характеризующих взаимодействия внутри их, требует более глубоких исследований. Так, например, для изучения процессов взаимодействия в приводном слое акватории океана в области действия среднеширотных циклонов в виде вертикальных турбулентных потоков тепла и импульса на различных временных масштабах исследуются возможности спутниковых СВЧ-радиометрических методов [4, 5]. Решение этой задачи может позволить более точно рассчитать аномалии значений параметров в зонах интенсивных взаимодействий атмосферы и океана, и определить, в том числе и для вышележащих слоёв атмосферы, объективные границы указанных зон [6].

Поверхность 700 гПа относится к средней тропосфере. Формирование гидрометеорологических характеристик на этом уровне обусловлено как процессами взаимодействия подстилающей поверхности с приземным слоем воздуха, так и процессами в свободной атмосфере.

Подобные процессы различных масштабов и разной интенсивности приводят к возникновению неоднородностей в полях гидрометеорологических характеристик над акваторией Северной Атлантики и прилегающей территории суши [7, 8].

Построение суждений о распределении энергии процессов взаимодействий атмосферы и океана в пространстве на основе использования неоднородностей в распределениях значений одного параметра является некорректным. Так, например, повышенная температура поверхности океана не может быть единственным влияющим фактором, определяющим большие значения потоков тепла направленных в атмосферу. В этом случае необходимо брать во внимание разность температур воздух-вода и степень насыщения влагой воздушной массы поступающей на океанскую поверхность. Таким образом, можно сделать вывод о необходимости использования совокупности основных характеристик процессов взаимодействия атмосферы и океана (а в случае исследования состояния атмосферы на высотах, например, ещё и циркуляционные условия), представленных в виде некоторых параметров, значения которых характеризуют уровень энергетической активности указанных процессов (для атмосферы энергетическое состояние воздуха). Параметризация процессов взаимодействия (энергетического состояния воздуха) в районе поверхности 700 гПа над Северной Атлантикой в начале холодного времени года (в ноябре), определение их статисти-

ческих характеристик и является целью данной работы.

В предлагаемом исследовании задача решается с помощью методов многомерного статистического анализа и носит вид теоретического эксперимента, базирующегося на данных реанализа. Полученные результаты явились составной частью исходной выборки для построения физико-статистической модели дальних связей в системе атмосфера-подстилающая поверхность.

2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В предыдущих публикациях [9, 10] показано, что процессы взаимодействия подстилающей поверхности (океана) и атмосферы, так же как и процессы взаимодействия в атмосфере, приводящие к различному энергетическому состоянию на высотах, можно параметризовать с помощью методов многомерного статистического анализа, в частности компонентного анализа [11, 12]. При этом в роли параметров, определяющих интенсивность взаимодействия двух сред, выступают главные компоненты [9, 10]. Здесь же показано, что каждую главную компоненту можно представить в виде линейной комбинации исходных факторов с соответствующими весовыми коэффициентами (нагрузками). В качестве нагрузок выступают координаты собственных векторов. К такому утверждению можно прийти только при устранении размерности и приведению к одному порядку исходных факторов, что осуществляется с помощью процедуры нормирования (в данном случае на норму). Величина нагрузки определяет значимость фактора в формировании главной компоненты и, соответственно, в указанных выше процессах взаимодействия (обменом теплом, влагой, импульсом).

Значимость исходного фактора также определяется вкладом соответствующей главной компоненты в общую дисперсию процессов определяющих энергетическое состояние воздуха на высотах. Уровень такого энергетического состояния воздуха определяется соответствующими значениями главной компоненты.

Исходная выборка для проведения исследования формировалась на основе данных реанализа массива ERA-40 [13] заданных в точках регулярной сетки $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ в период 1957–2001 гг. за ноябрь, над Северной Атлантикой (30° – 90° с.ш. и 70° з.д.– 20° в.д.), а именно: среднемесячные значения температуры воздуха (T_{700} , К), геопотенциала (Φ^* , $\text{м}^2/\text{с}^2$), массовой доли водяного пара (S , кг/кг), зональной составляющая скорости ветра (u , м/с), относи-

тельного вихря скорости (Ω_z , с^{-1}) на поверхности 700 гПа.

В узлах сетки представленной территории были сформированы векторы из пяти значений исходных гидрометеорологических величин взятые в определённый момент времени. Это дало возможность получить с помощью компонентного анализа матрицы корреляций для указанных точек сетки и решить полную проблему собственных значений, а именно рассчитать собственные значения и собственные векторы, которые в свою очередь, являются ортогональным базисом многомерного евклидова пространства [12].

Каждая совокупность векторов выбранных нормированных исходных характеристик, отражающих процессы тепло- и влагообмена, в узлах сетки для поверхности 700 гПа была разложена в соответствующем ортогональном базисе [12]. Результатами этой операции явились главные компоненты, которые являются независимыми параметрами, определяющими энергетическое состояние атмосферы на высотах (в данном случае на поверхности 700 гПа).

В алгоритме компонентного анализа [11, 12] процедура нормирования исходных объектов даёт возможность рассматривать значения собственных векторов в качестве коэффициентов, определяющих значимость каждой из пяти указанных исходных гидрометеорологических величин в соответствующей главной компоненте. В дальнейшем будем называть значения собственных векторов весовыми коэффициентами или весовыми нагрузками. Указанные весовые коэффициенты могут принимать как отрицательные, так и положительные значения. Главные компоненты, которые отражают процессы формирующие тепло- и влагосодержание на высотах в атмосфере, тоже могут иметь как отрицательные, так и положительные значения, зависящие от знака координат собственных векторов и значений исходных параметров.

Вклад каждой из выделенных главных компонент в энергетическое состояние атмосферного воздуха зависит не только от знака (положительного или отрицательного) и величины их значений, но также от знака и величины значений собственных векторов, соответствующих им. Составленная таким образом линейная комбинация позволяет получить отфильтрованные значения исходных характеристик. В данном подходе при анализе временной изменчивости процессов взаимодействия необходимо учитывать как вклад в дисперсию процессов, так зна-

Таблица 1 – Суммарная дисперсия первых трёх главных компонент, полученных по всей совокупности значений, в репрезентативных узлах кластеров, расположенных в Северной Атлантике (поверхность 700 гПа)

Месяц	Для компонент, соответствующих					
	максимальным значениям дисперсий			минимальным значениям дисперсий		
	1 gk	2 gk	3 gk	1 gk	2 gk	3 gk
	приповерхностный слой					
ноябрь	93,3	92,8	88,4	90,6	89,6	91,3

чения и знаки главных компонент, имеющих смысл параметров.

Компонентный анализ, применённый к полям метеорологических характеристик в районе исследования, определил, что собственные значения первых трёх собственных векторов охватывают более 80% общей дисперсии взаимодействия процессов тепло- и влагообмена. (табл. 1).

С целью сокращения исходной информации и получения однородных районов, в которых показатели состояния энергии воздуха на высотах обладают существенным подобием, к главным компонентам, был применён алгоритм кластерного анализа УИМКД (Универсальный итерационный метод кластеризации данных) [14].

3. ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В большинстве случаев, согласно представленным схемам кластеризации, первая главная компонента, объясняющая максимальный вклад в общую дисперсию, даже при одинаковом количестве полученных однородных районов, имеет меньшие дробления на локальные очаги: кластеры, в большинстве случаев, имеют вид цельных районов больших размеров. Одновременно, в соответствии с выдвинутой гипотезой о возможном проявлении новых зон повышенного энергетического состояния атмосферы на высотах при подготовке исходной выборки факторов, необходимо несколько изменить общепринятые подходы. Например, определение этих зон по экстремальным значениям отдельных параметров: температур поверхности и приповерхностного слоя воздуха, их разности, а также давления насыщенного водяного пара [1, 2, 3].

К тому же утверждение о проявлении энергетических зон повышенной интенсивности только в полях первой главной компоненты, имеющей максимальное собственное значение, а значит и наибольший вклад в дисперсию процессов взаимодействия, было бы некорректным. При анализе необходимо учитывать и следующие аспекты.

Во-первых, в ситуации, когда значительные

весовые нагрузки присутствуют при большинстве исходных характеристиках, участвующих в расчётах значений главной компоненты, можно говорить о повышенном энергетическом состоянии воздуха и усилении бароклинности в данном однородном регионе. Во-вторых, при расчётах значений компонент, согласно методики компонентного анализа, при совпадении знака координаты собственного вектора (весового коэффициента) и значения гидрометеорологической характеристики имеет место их увеличение, и наоборот, уменьшение при несовпадении.

Принимая во внимание инерционность океана, процессы, протекающие в приводном слое, можно утверждать, что ноябрь является календарной серединой осеннего периода.

Первая главная компонента. Как показали проведённые исследования распределение значений первой главной компоненты характеристик энергетического состояния атмосферы на поверхности 700 гПа над территорией Северной Атлантики в холодный период отличается разнообразием от месяца к месяцу. В поле первой главной компоненты (рис. 1) наблюдается обширная однородная зона, занимающая около двух третьих пространства над акваторией Северной Атлантики и примыкающими участками суши (рис. 1 - кластер А). Только на севере имеет место вытянутый кластер – над большей частью территории Гренландии, южной частью моря Баффина и Гренландским морем (Норвежско-Гренландская ЭАО, часть а) (рис. 1 – кластер В).

Второй очаг этого кластера располагается над севером Норвежского моря (Норвежско-Гренландская ЭАО, часть б). Кластеру А (рис. 1) соответствует минимальная межгодовая дисперсия репрезентативного вектора первой главной компоненты и минимальное положительное среднее значение, а кластеру В (рис.1) – значительная дисперсия и максимальное положительное среднее значение (табл. 2).

Основной вклад в формирование значений

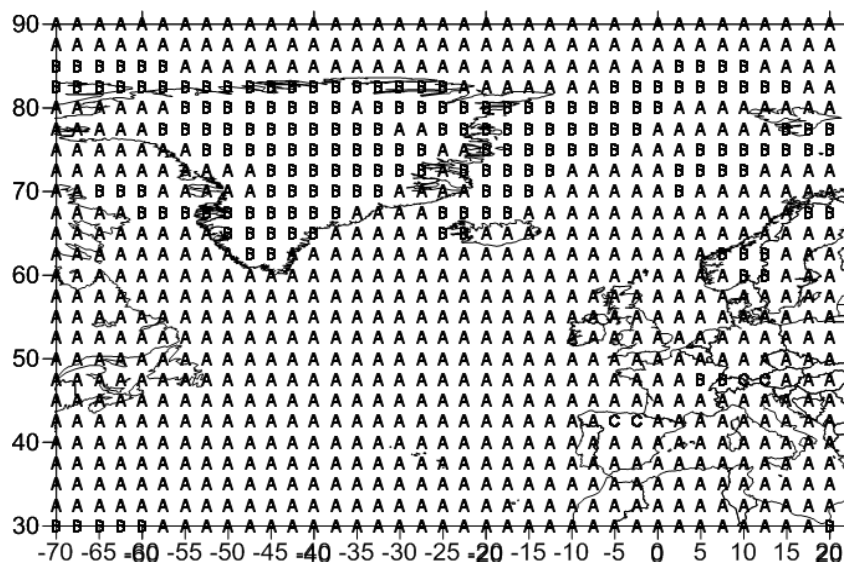


Рис. 1 – Распределение однородных зон 1-ой главной компоненты энергетического состояния воздуха на поверхности 700 гПа над Северной Атлантикой, (ноябрь), период 1957 - 2002 гг.

Таблица 2 – Межгодовые дисперсии и средние значения главных компонент энергетического состояния воздуха на поверхности 700 гПа в репрезентативных узлах кластеров, расположенных над районом Северной Атлантики (первая компонента)

Обозначение кластеров	А	В	С
Средние значения ($\cdot 10^{-2}$)	18,5	26,4	-5,1
Внутрикластерные дисперсии ($\cdot 10^{-4}$)	1,53	6,02	12,17

репрезентативных векторов главной компоненты однородных зон А и В (рис. 1) вносят значения температуры воздуха, массовой доли водяного пара и геопотенциала (значения положительные). Весовые нагрузки при них имеют положительный знак (табл. 3). Несколько меньшую значимость имеют зональная составляющая скорости ветра (в кластере А – весовая нагрузка отрицательная, в кластере В – положительная, значения характеристики – положительные) и относительный вихрь скорости (в обоих кластерах весовые нагрузки отрицательные (табл.3), значение характеристики в центральной части Гренландии отрицательное, на остальной территории – незначительное положительное).

Такое распределение нагрузок, максимальное положительное среднее значение и большая межгодовая изменчивость первой главной компоненты в кластере В свидетельствует о повышенной энергетической активности атмосферы на поверхности 700 гПа в этом районе.

Кластеры второй главной компоненты энергетического состояния воздуха на поверхности 700 гПа представляют собой очаговую структуру (рис. 2). Количество однородных зон и их очагов увеличивается на протяжении зимнего периода. Кластер В (рис. 2), которому соответствует максимальное положительное среднее значение репрезентативного вектора главной компоненты

(табл. 2), в ноябре занимает больше половины пространства над рассматриваемой территорией. Следующий по размерам кластер А (рис. 2) с минимальным значением второй главной компоненты представлен следующими очагами: первый – над полуостровом Лабрадор, о. Ньюфаундленд, над холодным Лабрадорским течением; второй – над центральной Гренландией, над акваторией Северного Ледовитого океана, примыкающей к северному побережью Гренландии, над западной частью Гренландского моря. В однородной зоне В (рис. 2) повышенное энергетическое состояние атмосферы на поверхности 700 гПа определяется только циркуляционными характеристиками, а именно относительным вихрем скорости (весовая нагрузка 0,78) и зональной составляющей скорости ветра (0,47) (табл. 3).

В последующие месяцы кластер В (рис. 2) трансформируется. Так в декабре, например, он разбивается на два кластера, имеющие максимальные положительные средние значения репрезентативных векторов и межгодовые дисперсии.

Таблица 3 – Значения собственных векторов и собственные числа (вклад в дисперсию) параметров энергетического состояния атмосферы в репрезентативных узлах кластеров на поверхности 700 гПа, расположенных над районом Северной Атлантики, (ноябрь)

Координаты собственных векторов									
1-й собственный вектор			2-й собственный вектор			3-й собственный вектор			
Литера кластера									
A	B	C	A	B	C	A	B	C	D
0,54	0,49	-0,59	-0,09	0,22	-0,57	-0,14	0,29	0,23	-0,24
0,45	0,52	0,11	-0,18	0,26	-0,68	-0,22	0,25	-0,04	-0,85
0,51	0,49	-0,64	-0,15	0,22	-0,21	-0,04	0,06	0,04	-0,34
-0,39	0,36	0,19	-0,65	0,78	-0,27	0,93	0,22	-0,09	-0,14
-0,30	-0,34	0,43	0,72	0,47	0,31	-0,26	0,90	0,97	0,29
Собственные значения/вклад в общую дисперсию									
Литера кластера									
A	B	C	A	B	C	A	B	C	D
2,49	3,06	2,09	1,28	1,03	1,51	0,92	0,64	0,98	0,56
49,75	61,17	41,71	25,58	20,56	30,24	18,44	12,88	19,69	11,25

Примечание: в представленной таблице, в части «Значения собственных векторов», в первой строке указаны весовые коэффициенты, соответствующие температуре воздуха, во второй – к массовой доле водяного пара, в третьей – к геопотенциалу, в четвёртой – к зональной составляющей скорости ветра, в пятой – к относительному вихрю скорости (например, 0,54; 0,45; 0,51; -0,39; -0,30).

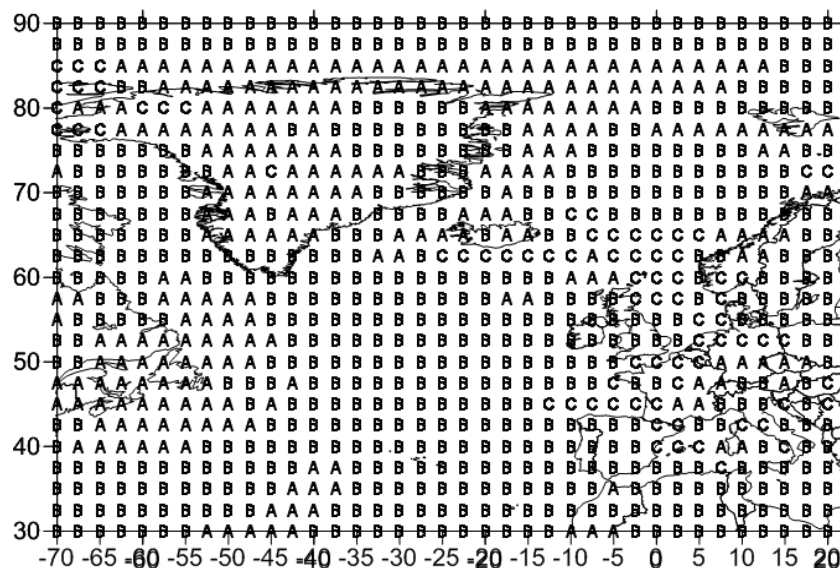


Рис. 2 – Распределение однородных зон 2-ой главной компоненты энергетического состояния воздуха на поверхности 700 гПа над Северной Атлантикой, (ноябрь), период 1957 - 2002 гг.

В ноябре присутствует ещё один кластер С (рис. 2) с большим по величине, но отрицательным по знаку значением второй главной компоненты (табл. 4). Учитывая, что в ней весовые на-

грузки на характеристики являются отрицательными, а именно, на влажность (-0,68) и температуру воздуха (-0,57), есть основание утверждать, что в этой зоне состояние атмосферы определя-

ют процессы большой интенсивности. Во взаимном расположении кластеров с максимальными по величине значениями второй главной компоненты сохраняется такая же тенденция – зоны с противоположными знаками компоненты граничат между собой. Очаги кластера С (рис. 2) занимают на поверхности 700 гПа пространство над центральной и северо-западной Гренландией, над акваторией Северной Атлантики в районе Исландии, Норвежского полуострова и Британских островов.

При кластеризации третьей главной компоненты энергетического состояния атмосферы на поверхности 700 гПа наблюдается обратная картина. Количество кластеров и очаговость на протяжении рассматриваемого холодного периода убывает. Место расположения кластеров с максимальными по величине значениями репрезентативных векторов смещается в западную часть Северной Атлантики (рис. 3).

В ноябре такие кластеры представлены зонами В и D (рис. 3). Зона В имеет сложную конфигурацию. Она занимает пространство над западной Гренландией, морем Лабрадор, далее на восток от южной оконечности Гренландии через Исландию и Норвежский полуостров, и на юг над полуостровом Лабрадор, над Ньюфаунд-

лендской ЭАО к центральной части океанского северного субтропического антициклонического кругооборота. На севере Гренландского моря и над островом Шпицберген присутствуют еще два очага кластера В. Основная нагрузка в третьей компоненте в зоне В (рис. 3) приходится на относительный вихрь скорости (0,93) (табл.3). Положительное значение репрезентативного вектора и распределение нагрузок в кластере В (рис. 3) свидетельствует об усилении циклонического вихря процессами, описываемыми третьей компонентой. В зоне D (рис. 3), очаги которой рассредоточены над центральной частью акватории Северной Атлантики, значение главной компоненты имеет отрицательный знак (табл. 5) и, в основном (за исключением нагрузки на относительный вихрь), отрицательные весовые коэффициенты при исходных характеристиках. Самый большой по величине из коэффициентов относится к массовой доле водяного пара (-0,85) (табл.3). Согласно методике представленного анализа такое соотношение знаков и величин свидетельствует о существенном вкладе третьей компоненты в формирование полей влажности в однородной зоне D.

Таблица 4 – Межгодовые дисперсии и средние значения главных компонент энергетического состояния воздуха на поверхности 700 гПа в репрезентативных узлах кластеров, расположенных над районом Северной Атлантики (вторая компонента)

Обозначение кластеров	А	В	С
Средние значения ($\cdot 10^{-2}$)	-0,3	14,6	-18,2
Внутрикластерные дисперсии ($\cdot 10^{-4}$)	6,84	3,68	7,08

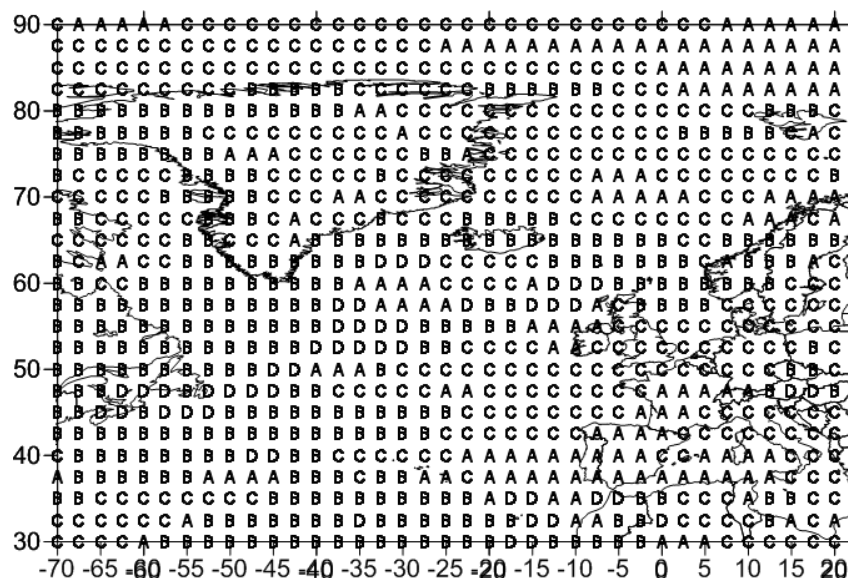


Рис. 3 – Пространственное распределение однородных зон 3-ей главной компоненты энергетического состояния воздуха на поверхности 700 гПа над Северной Атлантикой, (ноябрь), период 1957 - 2002 гг.

Таблица 5 – Межгодовые дисперсии и средние значения главных компонент энергетического состояния воздуха на поверхности 700 гПа в репрезентативных узлах кластеров, расположенных над районом Северной Атлантики (третья главная компонента)

Обозначение кластеров	A	B	C	D
Средние значения ($\cdot 10^{-2}$)	-5,1	14,5	1,9	-16,2
Внутрикластерные дисперсии ($\cdot 10^{-4}$)	19,94	2,95	2,91	6,55

4. ВЫВОДЫ

Данное исследование показало, что процессы, определяющие энергетическое состояние атмосферы на поверхности 700 гПа, также можно параметризовать с помощью методов многомерного статистического анализа. Один из подобных алгоритмов применён в предложенном исследовании. При данном подходе главные компоненты, отражающие ортогональные процессы, имеют отличия не только в средних значениях и вкладах в дисперсию, но и в весовых коэффициентах при исходных характеристиках. Координаты собственного вектора, соответствующего первой компоненте, во всех однородных регионах по своим значениям являются значимыми (наибольшими) для температуры воздуха, массовой доли водяного пара и геопотенциала (за исключением малоразмерной зоны С (над севером Пиренейского полуострова), в которой процессы влагообмена не вносят весомый вклад в формирование первой главной компоненты). Во второй компоненте такое распределение нагрузок характерно в зонах А и В для циркуляционных, а в зоне С – для температурно-влажностных характеристик. В третьей компоненте весовые коэффициенты при рассматриваемых характеристиках не имеют однозначного распределения. Тоже имеет место и в их знаках.

Распределение первой главной компоненты соответствует полям высотного и приземного давления, а третьей компоненты – распределению ветра в проводном слое в холодное время года [1]. Данный факт подтверждается значениями весовых коэффициентов при исходных параметрах воздуха. В отличие от первой, распределение второй и третьей компонент имеет очаговый характер, более связанный с региональными особенностями. Полученные результаты являются физически обоснованными. Аналогичные исследования, проведённые для остальных месяцев холодного периода, позволили определить выборки на входе в имитационную математическую модель для установления влияния районов Северной Атлантики с однородными условиями формирования тепло-, влаго- и давления в свободной атмосфере, а также циркуляционных характеристик на региональные климаты Восточно-Европейского сектора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власова Г. А., Полякова А. М. Активная энергетическая зона океана и атмосферы северо-западной части Тихого океана. Владивосток : Дальнаука, 2004. 146 с.
2. Лаппо С. С., Гулев С. К., Рождественский А. Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. Ленинград : Гидрометеиздат, 1990. 335 с.
3. Энергоактивные зоны: концептуальные основы. Серия: Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы» / Марчук Г. И., Кондратьев К. Я., Козодеров В. В. и др. Москва : ВИНТИ, 1989. Т. II. Ч. II. 368 с.
4. Исследование поведения океана и атмосферы в зонах деятельности циклонов с помощью спутниковых СВЧ-радиометрических и наземных средств / Гранков А. Г., Маречек С. В., Мильшин А. А. и др. *Журнал радиоэлектроники*. 2013. №1. С. 1-47.
5. Регулярности и аномалии теплового взаимодействия океана и атмосферы в течении Гольфстрим по данным многолетних спутниковых СВЧ-радиометрических измерений / Гранков А. Г., Мильшин А. А., Шелобанова Н. К. и др. *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*. 2017. №2. С. 13-22.
6. Взаимосвязанные климатические аномалии в Тихом океане и дальневосточных морях / В. И. Пономарев, Е. В. Дмитриева, С. П. Шкорба и др. *Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана*; в 2 кн. Владивосток : Дальнаука. 2013. Т. 1. С. 13-36.
7. Серга Э. Н. Особенности распределения однородных зон в полях гидрометеорологических характеристик Североатлантического региона в холодный период года. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2016. Вип. 20. С. 40-51.
8. Серга Э. Н., Сущенко А. И. Климатическое районирование полей среднемесячных температур подстилающей поверхности и воздуха в северной части Атлантического океана в зимний период. *Austrian Journal of Humanities and Social Sciences*. 2014. № 9–10. С. 180–186.
9. Серга Э. Н., Серга И. Н. Зоны интенсивных взаимодействий в приповерхностном слое атмосферы в Северной Атлантике. Ноябрь. *Вісник Одеського держ. екологічного університету*. 2017. Вип. 22. С. 32-43.
10. Серга Э. Н. Зоны интенсивных взаимодействий над Северной Атлантикой: поверхность 850 гПа, ноябрь. *Вісник ОНУ. Серія: Географічні та геологічні науки*. 2017. Т. 22. Вип. 1(30). С. 38-51.
11. Кулаичев А. П. Методы и средства комплексного анализа данных. Москва : ИНФРА-М, 2006. 512 с.
12. Школьный С. П., Лоева И. Д., Гончарова Л. Д. Обработка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підруч. Київ : Міносвіти України, 1999. 578 с.
13. Служба данных ECMWF ERA-40. URL:

<http://www.ecmwf.int/products/data> (дата обращения 10.11.2015).

14. Серга Э. Н. Универсальный итерационный метод кластеризации данных. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2013. № 12. С. 112-123.

REFERENCES

1. Vlasova, G.A. & Polyakova, A. M. (2004). *Aktivnaya energeticheskaya zona okeana i atmosfery severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana* [The active energy zone of the ocean and the atmosphere of the northwestern part of the Pacific Ocean]. Vladivostok: Dal'nauka. (in Russ.)
2. Lappo, S.S., Gulev, S.K. & Rozhdestvenskiy, A.E. (1990). *Krupnomasshtabnoye teplovoe vzaimodeystvie v sisteme okean-atmosfera i energoaktivnye oblasti Mirovogo okeana* [Large-scale heat interaction in the ocean-atmosphere system and energy active areas of the World Ocean]. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ.)
3. Marchuk, G.I., Kondrat'ev, K.Ya., Kozoderov, V.V. et al. (1989). *Energoaktivnye zony: kontseptual'nye osnovy. Seriya: Atmosfera, okean, kosmos — programma «Razrezy»* [Energy-intensive zones: conceptual foundations. Series: Atmosphere, ocean, space - the program "Cuts"]. Moscow: VINITI, vol. II, ch. II. (in Russ.)
4. Grankov, A.G., Marechek, S.V., Milshin, A.A. et al. (2013). Issledovanie povedeniya okeana i atmosfery v zonakh deyatelnosti tsiklonov s pomoshchyu sputnikovyykh SVCh-radiometricheskikh i nazemnykh sredstv [Research of the behavior of the ocean and the atmosphere in the zones of cyclone activity with the help of Satellite microwave-radiometric and ground-based means]. *Zhurnal radioelektroniki* [Journal of Radioelectronics], 1, pp. 1-47. (in Russ.)
5. Grankov, A.G., Milshin, A. A., Shelobanova, N. K. et al. (2017). Regulyarnosti i anomalii teplovogo vzaimodeystviya okeana i atmosfery v techenii Golfstrim po dannym mnogoletnikh sputnikovyykh SVCh-radiometricheskikh izmereniy. [Regularities and anomalies of the thermal interaction of the ocean and the atmosphere during the Gulf Stream from the data of long-range satellite microwave radiometric measurements]. *Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnnykh resursov* [Problems of the environment and natural resources], 2, pp. 13-22. (in Russ.)
6. Ponomarev, V.I., Dmitrieva, Ye.V., Shkorba, S.P. et al. (2013). Vzaimosvyazannyye klimaticheskie anomalii v Tikhom okeane i dalnevostochnykh moryakh [Interrelated climatic anomalies in the Pacific Ocean and the Far Eastern seas]. *Okeanologicheskie issledovaniya dalnevostochnykh morey i severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana: v 2 kn.* [Oceanological research of the Far Eastern Seas and the northwestern part of the Pacific Ocean: in 2 books]. Vladivostok: Far Eastern Science, vol. 1, pp. 13-36. (in Russ.)
7. Serga, E.N. (2016). [Characteristic features of homogeneous areas in the fields of hydrometeorological characteristics in the Northern Atlantic during the cold season]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekolohichnogo universitetu* [Bulletin of Odessa state environmental university], 20, pp.40-51. (in Russ.)
8. Serga, E.N., & Sushchenko, A.I. (2014). [Climatic zoning of fields of average monthly temperatures of the underlying surface and air in the northern part of the Atlantic Ocean in the winter period]. *Austrian Journal of Humanities and Social Sciences*, 9–10, pp. 180–186. (in Russ.)
9. Serga, E.N. & Serga, I. N. (2017). [Zones of intensive interactions within the near-surface layer of the atmosphere in North Atlantic. November]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekolohichnogo universitetu* [Bulletin of Odessa state environmental university], 22, pp. 32-43. (in Russ.)
10. Serga, E.N. (2017). [Zones of intensive interactions over the North Atlantic: 850 mb geopotential height, november]. *Visn. Odes. nats. univ. geograf. ta geolog. nauki. [Bulletin of the ONU]*, 22(1(30)), pp. 38-51. (in Russ.)
11. Kulaichev, A.P. (2006) *Metody i sredstva kompleksnogo analiza dannykh* [Methods and means for complex data analysis]. Moscow: INFRA-M. (in Russ.)
12. Shkolnyi E.P., Loeva I.D. & Goncharova L.D. (1999). *Obrobka ta analiz hidrometeorologichnoi informatsii* [Processing and analysis of the hydrometeorological data]. Kyiv. (in Ukr.)
13. *Sluzhba dannykh ECMWF ERA-40* [Data Service ESMWF ERA-40]. Available at: <http://www.ecmwf.int/products/data> (Accessed: 10.11.2015).
14. Serga, E.N. (2013). [The universal iterative method of clusterization of data]. *Ukrainiskij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 12, pp. 112-123. (in Russ.)

ZONES OF INTENSIVE INTERACTIONS OVER THE NORTH ATLANTIC, 700 hPa LEVEL, NOVEMBER

E. N. Serga, I. N. Serga

Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine
Serga_ed@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6470-8540>

The methods of cluster and component analysis were applied to the existing factors that are associated with the characteristics of heat and moisture exchange at 700 hPa level before their inclusion in the model of regional climates imitation, in order to detect zones of active interaction in the atmosphere over the North Atlantic and determine the regions hosting the processes that cause a significant impact on formation of features of climatic responsive regimes in the Eastern Europe.

Each node of a 2,5°×2,5° grid covering the North Atlantic has the first three main components identified and they describe more than 80 % of the total dispersion of the interaction processes at 700 hPa level.

Using the Universal Iterative Method of data clustering the study defines the homogeneous regions in the fields of main components of vectors of state of meteorological characteristics at

700 hPa level over the North Atlantic. It also specifies a physical and statistical analysis of the obtained clustering schemes which has a good scientific substantiation and shows that the clusters of the first main component are of a large-scale type, and the second and third components have a focal character. At 700 hPa level clusters differ in the intensity of interaction processes. The intensity of processes is characterized by distribution and magnitude of weight loads, average values of representative vectors and intra-cluster dispersion. We determined that the first main component makes the basic contribution to the formation of the majority of initial meteorological values, and the third main component reflects the influence of local features on interaction processes. These facts are confirmed by the manner in which loads over the studied region are distributed on the initial characteristics of atmospheric processes. Intra-cluster dispersion reflects the degree of diversity of these processes by region. The study identifies correspondence of the high-altitude homogeneous zones of the main components to the near-surface cyclic energy-active ocean zones.

Keywords: atmosphere, air temperature, velocity vortex, the North Atlantic, 700 hPa level, representative vector, cluster, weight load, main component.

ЗОНИ ІНТЕНСИВНИХ ВЗАЄМОДІЙ НАД ПІВНІЧНОЮ АТЛАНТИКОЮ, ПОВЕРХНЯ 700 ГПА, ЛИСТОПАД

Е. М. Серга, І. М. Серга

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна
Serga_ed@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6470-8540>

Для виявлення зон активних взаємодій в атмосфері над Північною Атлантикою і визначення регіонів, процеси у яких істотно впливають на формування особливостей кліматичних режимів відгуків в районі Східної Європи, до діючих чинників, що представляють характеристики тепло- і вологообміну на поверхні 700 гПа, перед включенням їх в модель імітації регіональних кліматів були застосовані методи кластерного і компонентного аналізу.

У кожному вузлі градусної сітки $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ території Північної Атлантики виділені три перші головні компоненти, які описують більш ніж 80% загальної дисперсії процесів взаємодій на поверхні 700 гПа.

У полях головних компонент векторів станів метеорологічних характеристик на рівні 700 гПа над Північною Атлантикою, за допомогою Універсального ітераційного методу кластеризації даних визначені однорідні регіони. Наведено фізичний і статистичний аналіз отриманих схем кластеризації, який має наукове обґрунтування. Показано, що кластери першого головного компонента є великомасштабними, а другого і третього компонентів - осередкового характеру. Кластери відрізняються інтенсивністю процесів взаємодій на рівні 700 гПа. Інтенсивність процесів характеризується розподілом і величиною вагових навантажень, середніми значеннями репрезентативних векторів і внутрішньокластерною дисперсією. Визначено, що перша головна компонента вносить основний вклад у формування більшості вихідних метеорологічних величин, а третя головна компонента відбиває вплив на процеси взаємодії особливостей локального характеру. Дані факти знаходять підтвердження в розподілі навантажень на вихідні характеристики атмосферних процесів над досліджуванім регіоном. Внутрішньокластерна дисперсія відображає ступінь різноманітності зазначених процесів по регіонах. Виявлено відповідність висотних однорідних зон головних компонент приповерхневим циклічним енергоактивним зонам океану.

Ключові слова: атмосфера, температура повітря, вихор швидкості, Північна Атлантика, поверхня 700 гПа, репрезентативний вектор, кластер, вагове навантаження, головний компонент.

Подання до редакції: 09. 01. 2019
Надходження остаточної версії: 04. 04. 2019
Публікація статті: 30. 05. 2019

УДК: 551.510.534;551.520.17

ОГЛЯД СТАНУ ОЗОНОВОГО ШАРУ ТА РІВНЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ОПРОМІНЕННЯ НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ У 2018 РОЦІ

**І. В. Дворецька, М. В. Савенець,
А. П. Уманець, К. М. Комісар**

*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,
пр. Науки, 37, 03028, Київ, Україна,
savenetsm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9429-6209>*

У статті наведено результати щодобового моніторингу стану озонового шару та рівня ультрафіолетового опромінення над територією України у 2018 році. Аналіз проведено на основі вимірних значень загального вмісту озону з використанням супутникового приладу Ozone Monitoring Instrument (OMI) і розрахованих значень ультрафіолетового опромінення та УФ-індексу. Моніторинг здійснено для регулярної сітки з просторовою роздільною здатністю 1° та окремо у вузлах сітки, що за географічними координатами найближчі до адміністративних центрів регіонів України. Більшу частину року значення загального вмісту озону мало відрізнялися від середніх багаторічних та знаходилися у межах 270–370 одиниць Добсона (о.Д.). Виявлено та встановлено причини двох позитивних аномалій озону за період 24 лютого – 4 березня, що стало результатом різних процесів затокі збагаченого озоном повітря з півночі. Перший затік повітря відбувся 24–26 лютого, що спричинило підвищення значень загального вмісту озону до 490 о.Д. на північному заході України. Протягом другого затокі з 28 лютого до 4 березня на півночі та заході території вміст озону перевищував 500 о.Д. Нестабільність озонового шару над територією України протягом січня–квітня змінилася малими варіаціями поля озону. З травня до кінця року максимальні відхилення не перевищували 0.5σ за абсолютними значеннями. Встановлено, що області найбільших та найменших значень постійно змінювалися, проте більш низький вміст спостерігався над східними та південно-східними регіонами. Наприкінці року діагностовано зростання розкиду значень загального вмісту озону, що пов'язано із характерним сезонним збільшенням концентрацій. У результаті сталості значень загального вмісту озону більшу частину року та відсутності значних від'ємних відхилень, значення УФ-індексу не перевищували 7. Влітку, за найбільшої кількості сонячної радіації поблизу земної поверхні, стабільний вміст озону, що не відхилявся від середніх багаторічних значень більше ніж на 0.2σ , зумовив відсутність небезпечних перевищень УФ-індексу. Таким чином, протягом року не спостерігалось дуже високих та екстремальних рівнів ультрафіолетового опромінення.

Ключові слова: загальний вміст озону, ультрафіолетове опромінення, УФ-індекс, аномалія, відхилення

1. ВСТУП

Озоновий шар відіграє визначальну роль у фільтруванні згубного для живих організмів та здоров'я людини сонячного випромінювання у спектрі 100–280 нм, що носить назву «жорсткого» ультрафіолету (УФ-С) та частково перешкоджає проникненню у спектрі 280–315 нм (УФ-В) [1, 2]. Ця властивість, разом із участю озону у формуванні температурного режиму стратосфери [2, 3], обумовила необхідність проведення постійного моніторингу загального вмісту озону (ЗВО) та дослідження його змін.

В Україні донедавна діяла регулярна мережа спостережень за ЗВО, що складалася з 5 пунктів

моніторингу, обладнаними озонотрами М-124. Один спектрофотометр Добсона, що входить до складу мережі WOUDC, розташовується у Києві, а пункт спостережень носить назву Київ-Голосієво [4]. Проте, відсутність повірених приладів на регулярній українській мережі спостережень на сьогодні, та потреба у інформації щодо рівня ультрафіолетового опромінення у конкретних точках території України, обумовлюють необхідність залучення супутникових спостережень за ЗВО.

З початку 1970-х рр. лабораторією моніторингу атмосферного повітря Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України (далі лабораторія) проводяться

щодобовий моніторинг та аналіз стану озонowego шару над територією України. З розробкою методики моделювання та прогнозу рівня ультрафіолетового опромінення [5, 6] аналіз проводиться за потоками ультрафіолетової радіації на довжинах хвиль 305–315 нм та інтегральним показником ультрафіолетового індексу (УФ-індекс). УФ-індекс, за своєю суттю, є більш зрозумілим для широкого загалу та активно використовується для інформування населення щодо небезпечних рівнів ультрафіолетової радіації [1].

Результати щодобового моніторингу постійно надаються у вигляді річних оглядів стану озонowego шару та рівня ультрафіолетового опромінення у звітах науково-дослідних тем [7]. Деякий час огляд був обов'язковою частиною Національних доповідей про стан навколишнього природного середовища [8]. В останні роки відбувається поступовий перехід до використання у оглядах даних супутникових спостережень, що дозволило отримати детальну інформацію щодо ЗВО та обчислених значень УФ-індексу на регулярній сітці.

Основною проблемою, є відсутність загальнодоступної інформації щодо стану озонowego шару безпосередньо над територією України до зацікавлених науковців та громадськості. Вирішення цієї проблеми можливе через створення відкритої онлайн системи моніторингу для широкого загалу, що зараз розробляється лабораторією, та публікація річних оглядів за результатами щодобового моніторингу для науковців у більш доступному форматі.

Метою даної роботи є представлення детального аналізу стану озонowego шару та рівня ультрафіолетового опромінення над територією України у 2018 році, дослідження та пояснення формування аномалій ЗВО та небезпечних відхилень УФ-індексу.

2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Щодобовий моніторинг ЗВО над територією України у 2018 році здійснено з використанням даних приладу Ozone Monitoring Instrument (OMI) [9], встановленому на супутнику Aura. Модулі розшифровки, обробки та візуалізації інформації для території України написані мовою програмування VB.NET. Значення ЗВО отримувалися з просторовою роздільною здатністю $1 \times 1^\circ$ для області, що лежить в межах $21.5\text{--}41.5^\circ$ сх.д. та $43.5\text{--}53.5^\circ$ пн.ш. Проте, за необхідності детального аналізу, межі області

розширювалися. Щодобовий моніторинг здійснено для усієї регулярної сітки та окремо у вузлах сітки, що за географічними координатами найближчі до центрів адміністративних регіонів України.

Середні багаторічні значення, що використані для обчислення відхилень та визначено як норму, розраховано для координат, що співпадають із розташуванням обласних центрів за період 1981–2010 рр. за даними приладів TOMS/OMI. Для території України нормою є значення в межах 280–380 о.Д залежно від сезону. Відхилення реальних значень ЗВО за абсолютними значеннями та у одиницях середніх квадратичних відхилень (σ) обчислено з огляду на розраховані середні багаторічні значення.

Аналіз ультрафіолетового опромінення та показника УФ-індексу здійснено за методикою [5, 6] для центрів адміністративних регіонів. В основі методики покладено залежність ультрафіолетової радіації та ЗВО. Вхідною інформацією для обчислень ультрафіолетового опромінення є ЗВО, хмарність та кут падіння сонячних променів.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

За 2018 рік ЗВО над територією України знаходився в основному в межах 270–370 одиниць Добсона (о.Д.) (рис. 1), що мало відхилялися від середніх багаторічних значень 1981–2010 рр.

Протягом 24 лютого–4 березня діагностовано період зі значними відхиленнями, у результаті яких спостерігалось дві позитивні аномалії ЗВО. Найнижчий вміст озону над територією України протягом I півріччя 2018 року не перевищував відхилення від норми на -1.6σ . Певні підвищені значень ЗВО до 430–460 о.Д. спостерігалися на початку січня та в період 18–22 січня переважно в західних регіонах України; у середині березня по всій території України.

У січні ЗВО перевищував середні багаторічні значення на $0.3\text{--}0.5\sigma$, що відповідає 13–24 о.Д. Найбільші відхилення спостерігалися у центральних районах України над територіями Черкаської, Полтавської, Кіровоградської, Дніпропетровської та півднем Київської областей. Найменші відхилення спостерігалися на південному сході та південному заході території України. В період 18–22 січня над Закарпаттям, Львівською та Івано-Франківською областями відхилення ЗВО збільшилися до $2.2\text{--}2.4\sigma$.

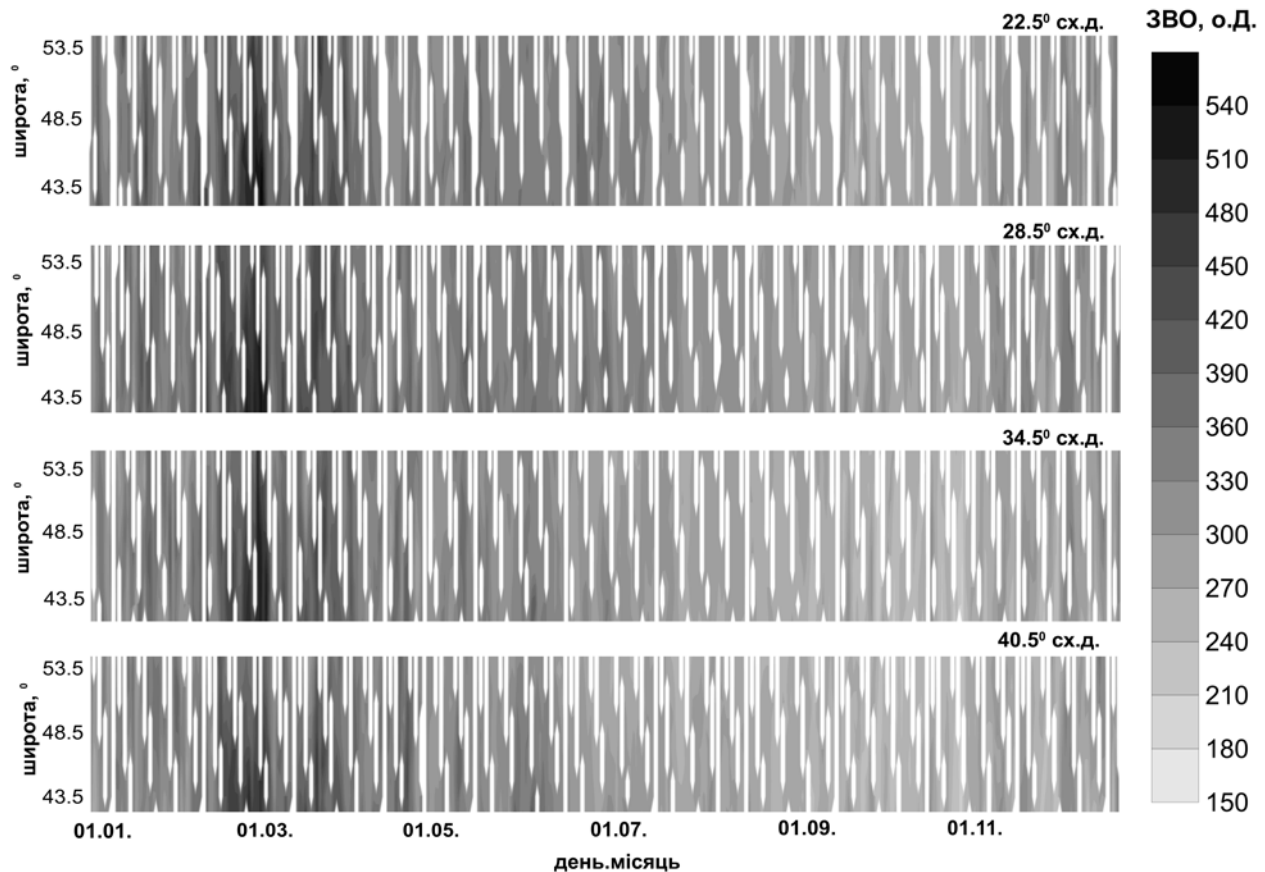


Рис. 1 – Сезонно-широтний розподіл ЗВО за 2018 рік на різних довготах (білим кольором зображено відсутні дані).

Середні значення ЗВО за лютий перевищували багаторічні на $0.3\text{--}1.1\sigma$, що відповідало $14\text{--}53$ о.Д. Найбільші відхилення були характерні для західних регіонів України, найменші – на півдні та над Чорним морем.

З 24 лютого до 4 березня на більшій частині території України спостерігалася позитивна озонна аномалія, поява якої відбулася дуже стрімко у результаті надходження багатого на озон повітря з півночі. Незважаючи на те, що суттєві відхилення зберігалися неперервно протягом усього періоду, причиною є два різні процеси, що поступово спостерігалися над територією України. Поява значних позитивних аномалій із значеннями ЗВО, що перевищують 450 о.Д., у широтному поясі над територією України може спостерігатися у період із січня до квітня [10, 11], та пов'язано із надходженням збагаченого озonom повітря з півночі, формуючи при цьому т.з. змішаний тип (тип D) вертикального розподілу [12]. Озон, що розташовується на нижчих висотах на півночі, після проникнення у помірні широти, перебуває певний час у фотохімічній рівновазі, та нижче 20 км формує другий максимум у вертикальному розподілі. Таким чином, наявність другого

максимуму, який зазвичай відсутній у помірних широтах, сприяє збільшенню ЗВО до $450\text{--}500$ о.Д. [12].

Протягом 24–26 лютого відбувся перший затік насиченого озonom повітря з півночі (рис. 2). Ще 23 лютого ЗВО над територією України варіював в межах $370\text{--}410$ о.Д., що не перевищує 1.5σ від середніх багаторічних значень.

24 лютого над північно-західною частиною території України ЗВО досяг аномальних значень $470\text{--}490$ о.Д., відхилення яких від норми перевищують 2.5σ . Протягом 25–26 лютого область аномальних значень змістилася на північ–північний схід, залишивши основну частину території України. Аномальні значення, що перевищили 480 о.Д., зберігалися тільки на півночі Волинської, Рівненської, Житомирської, Київської, Чернігівської та Сумської областей.

27 лютого над територією України спостерігалися завищені значення ЗВО на заході території України, де вміст перевищував 450 о.Д., проте аномальних відхилень не спостерігалось. Новий затік повітря, насиченого озonom, відбувся 28 лютого (рис. 3), у результаті якого аномалія протрималася до 4 березня.

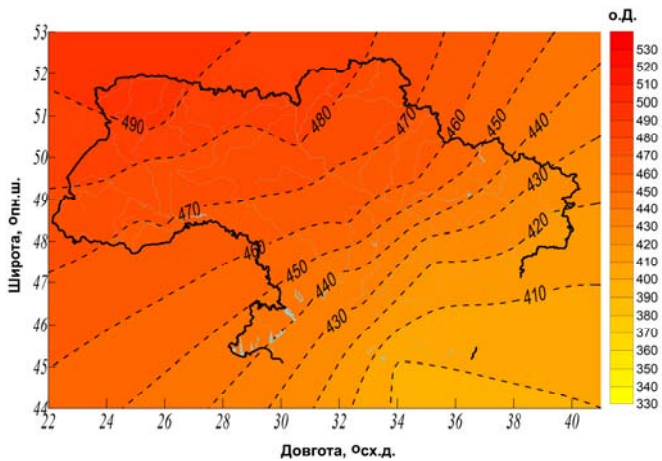


Рис. 2 – Просторовий розподіл ЗВО на 25 лютого 2018 р.

28 лютого відхилення ЗВО перевищували 2.5σ на півночі та заході території України, досягнувши 500 о.Д. на півночі Київської та Чернігівської областей. За період 1–2 березня практично над усією територією України спостерігалися значення ЗВО вище 490 о.Д. з відхиленнями від багаторічних значень на 3σ . 3 та 4 березня аномалія змістилася на північний-захід та північ, поступово залишивши територію України. 5 березня стан озонowego шару над територією України стабілізувався зі значеннями 390–430 о.Д., що не перевищувало відхилень від середніх на 1.5σ .

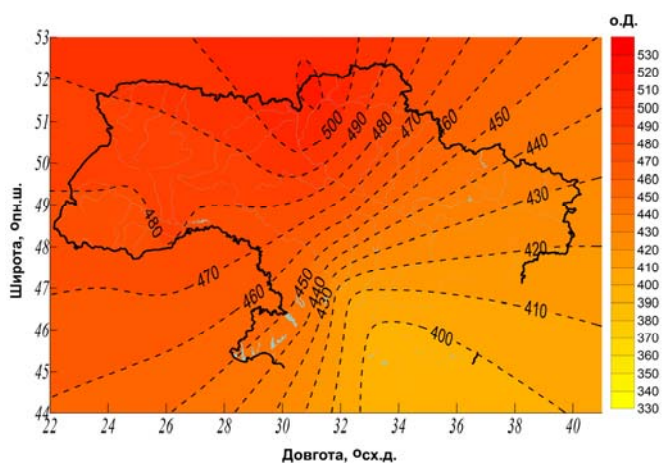


Рис. 3 – Просторовий розподіл ЗВО на 28 лютого 2018 р.

У березні в середньому спостерігалися перевищення середніх багаторічних значень на $0.3\text{--}0.7\sigma$, що відповідає 14–34 о.Д. Найбільші відхилення спостерігалися на півночі та заході території України, найменші – на півдні та крайньому сході. 21–22 березня над територіями Дніпропетровської та Донецької областей відзначалися позитивні відхилення ЗВО на $2.0\text{--}2.2\sigma$.

У квітні спостерігалися від'ємні відхилення ЗВО у середньому на $-0.1\text{--}-0.6\sigma$, що відповідає $-3\text{--}-28$ о.Д. у відношенні до середніх багаторічних значень. Перехід до від'ємних відхилень почав спостерігатися 3–4 квітня. Найменші значення спостерігалися над територією Волинської, Рівненської, Тернопільської та Хмельницької областей. Найвищий вміст відзначався над східними районами Харківської області, Донецькою та Луганською областями.

Травень характеризується незначними від'ємними відхиленнями $-0.2\text{--}-0.4\sigma$, тобто на $-8\text{--}-18$ о.Д. у відношенні до середніх багаторічних значень. Найбільші відхилення спостерігалися над південними та східними регіонами, тоді як найвищий вміст озону був характерний для північних регіонів території України.

У період з червня до жовтня над територією України не спостерігалось значних варіацій ЗВО (рис. 4). У червні найбільші середні відхилення від багаторічних значень не перевищували 6 о.Д. (-0.2σ). У липні середні значення ЗВО змінювалися у межах $0.1\text{--}-0.2\sigma$, тобто 5 – 10 о.Д. Найбільші з таких відхилень спостерігалися над південними та центральними областями України у червні, що у липні змістилися на східні райони території України та дорівнювали $-5\text{--}-10$ о.Д.

Серпень – вересень характеризується близькими значеннями ЗВО до середніх багаторічних з відхиленнями в межах $0\text{--}-0.2\sigma$ ($0\text{--}-8$ о.Д.). Найбільші з відхилень протягом двох місяців спостерігалися над південно-західними областями України.

У жовтні–листопаді, розмах відхилень дещо збільшився, проте значення були дуже близькими до середніх багаторічних. Відхилення знаходилися у межах $0.1\text{--}-0.1\sigma$ ($4\text{--}-6$ о.Д.) у жовтні та $0.2\text{--}0.0\sigma$ ($8\text{--}-2$ о.Д.) у листопаді. Найбільші додатні відхилення спостерігалися на заході території України, найменші – на сході.

У грудні в середньому відхилення ЗВО знаходились у межах $0.1\text{--}0.3\sigma$ ($3\text{--}13$ о.Д.), проте почалося збільшення розкиду значень, пов'язаним із сезонним підвищенням концентрацій озону в стратосфері, що супроводжується його більшою варіативністю.

Відсутність значних від'ємних відхилень ЗВО над територією України впродовж 2018 року, обумовило відсутність перевищень значень УФ-індексу за 7 (рис. 5).

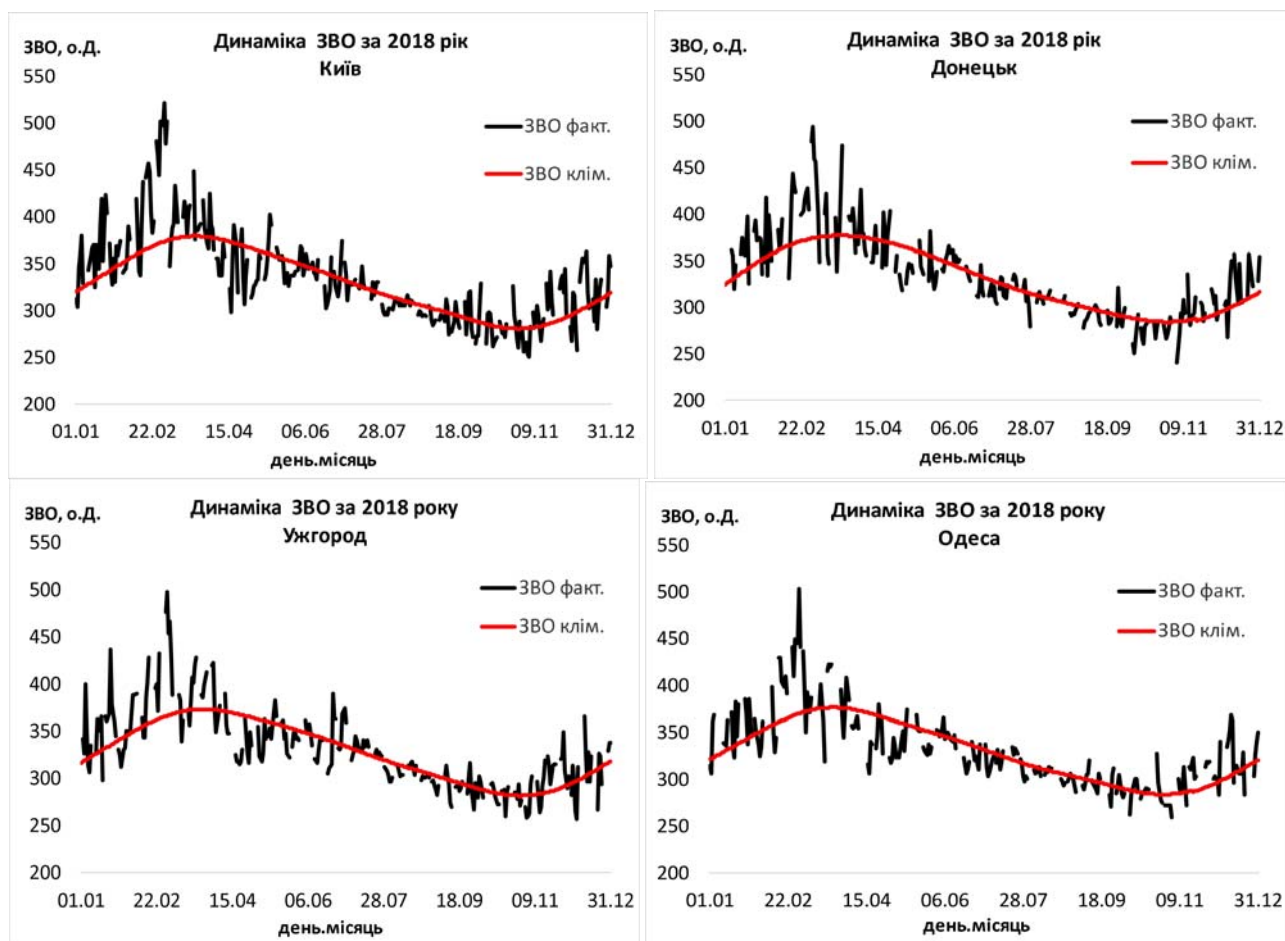


Рис. 4 – Динаміка ЗВО над деякими містами України у 2018 році



Рис. 5 – Динаміка УФ-індексу за 2018 рік

Протягом січня–березня значення УФ-індексу знаходилися у межах 1. Тільки з кінця березня почалося зростання, пов'язане з більш інтенсивним надходженням сонячної радіації. Оскільки суттєві відхилення ЗВО були відсутні, у період до травня включно, УФ-індекс не перевищував середні значення у 4–6 індексу. У червні–серпні спостерігалися максимальні

значення УФ-індексу над територією України, проте не було жодного випадку перевищення 7. За умов загальної хмарності 0-10% значення УФ-індексу знаходилися у межах 5.5–7, загальної хмарності 80–100% - не перевищували 4. Таким чином, у 2018 році, у зв'язку із стабільністю стану озонового шару влітку над територією України, не спостерігалися дні із УФ-індексом з градацій дуже високих та екстремальних значень (визначених Всесвітньою організацією охорони здоров'я [1] як 8–10 та 11+). У вересні–грудні значення УФ-індексу очікувано зменшувалися з 5–6 до 1 без значних варіацій.

4. ВИСНОВКИ

Протягом більшої частини 2018 р. ЗВО над територією України мало відрізнявся від середніх багаторічних значень та знаходилися, в основному, в межах 270–370 о.Д. У період з 24 лютого до 4 березня над територією України спостерігалися позитивні озонові аномалії, що

стало наслідком двох різних процесів затоку збагаченого озоном повітря з півночі. Максимальні відхилення досягали значень 500–530 о.Д. Зменшення розкиду значень ЗВО відбулося в кінці квітня, після чого відхилення від норми не перевищували на 0.5σ.

Стабільність ЗВО у літній сезон зумовила відсутність дуже високих та екстремальних рівнів ультрафіолетового опромінення, у результаті чого значення УФ-індексу жодного разу не перевищили 7.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Global solar UV index: a practical guide. A joint recommendation of WHO, WMO, UNEP, ICMIRP / World Health Organization. 2002. 18 p.
- Fabian P., Dameris M. Ozone in the Atmosphere: Basic Principles, Natural and Human Impacts. Springer, 2014. 144 p.
- Dessler A. The Chemistry and Physics of Stratospheric Ozone. International Geophysics Series. Vol. 74. Academic Press, 2005. 255 p.
- WOUDC. Station list. Kyiv-Goloseyev. URL: <https://woudc.org/data/stations/?id=498&lang=en> (Accessed: 03.01.2019)
- Эмпирическая модель для расчета солнечной ультрафиолетовой облученности по данным измерений, выполненных в ходе Второй Украинской Антарктической экспедиции / Белявский А. В. Грищенко В. Ф., Крученицкий Г. М. и др. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 1999. Вип. 247. С. 30–36
- Savenets M., Dvoretzka I., Kruchenitskiy G. The method for prediction of total ozone and ultraviolet radiation over Ukraine based on satellite data. *EUMETSAT Meteorological Satellite Conference 2016*, 26–30 September, Darmstadt, Germany, 2016. URL: https://www.eumetsat.int/website/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_FILE&dDocName=ZIP_CONF_2016_S6_POSTERS&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&RenderItem=Web (Accessed: 10.01.2019)
- Модернізація та впровадження системи моніторингу озонного шару і сонячної ультрафіолетової радіації над Україною з метою оперативного попередження населення про можливі загрози. Звіт про НДР №14/09. ДР № 0109U005310 / наук. керів. Дворецька І.В.; Український гідрометеорологічний інститут. Київ, 2009–2011.
- Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2003 році. URL: http://old.menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/Nac_dop_pro_stan_NPS/4_soe2003.pdf (дата звернення: 16.01.2019)
- NASA Ozone Watch. URL: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov> (Accessed: 03.01.2019)
- Савенець М. В. Особливості часового розподілу відхилень загального вмісту озону. *Метеорологія, гідрологія, моніторинг довкілля в контексті екологічних викликів сьогодення: матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених*, 16–17 листопада. Київ, 2016. С. 147–149
- Свтушевський О. М. Довготривала залежність сезонних змін загального вмісту озону в середньопівнічній атмосфері північної півкулі. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2014. №3. С. 49–58
- Хргиан А. Х. Фізика атмосферного озона. Ленинград: Гидрометеиздат. 1973. 293 с.

REFERENCES

- World Health Organization (2002). *Global solar UV index: a practical guide. A joint recommendation of WHO, WMO, UNEP, ICMIRP*.
- Fabian, P. & Dameris, M. (2014). *Ozone in the Atmosphere: Basic Principles, Natural and Human Impacts*. Springer.
- Dessler, A. (2005). *The Chemistry and Physics of Stratospheric Ozone. International Geophysics Series*. Vol. 74. Academic Press.
- WOUDC. Station list. Kyiv-Goloseyev. Available at: <https://woudc.org/data/stations/?id=498&lang=en> (Accessed: 03.01.2019)
- Belyavskiy, A., Grishchenko, V., Kruchenitskiy, G. et al. (1999). Empiricheskaya model dlya rascheta ultrafioletovoy obluchennosti po dannym izmereniy, vypolnennykh v khode Vtoroy Ukrainskoy Antarkicheskoy ekspeditsii [Empirical model for solar UV-irradiance calculation based on Second Antarctic Expedition data]. *Naukovi pratsi UrkNDGMI. [Scientific papers of UkNDGMI]*, 243, pp. 30–36 (in Russ.)
- Savenets, M., Dvoretzka, I. & Kruchenitskiy, G. (2016). The method for prediction of total ozone and ultraviolet radiation over Ukraine based on satellite data. *EUMETSAT Meteorological Satellite Conference 2016*, 26–30 September, Darmstadt, Germany. Available at: https://www.eumetsat.int/website/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_FILE&dDocName=ZIP_CONF_2016_S6_POSTERS&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&RenderItem=Web (Accessed: 10.01.2019).
- Iryna Dvoretzka (Scient. chief). (2009-2011). *Modernizatsiia ta vprovadzhenia systemy monitorynhu ozonovoho sharu i soniachnoi ultrafioletovoi radiatsii nad Ukrainoiu z metoiu operatyvnoho poperedzhennia naselennia pro mozhlivi zagrozy: Zvit pro NDR №14/09. DR #0109U005310 [Modernization and implementation of total ozone and ultraviolet radiation system above Ukraine for the purpose of operational informing of population about possible threats: Report №14/09. SR № 0109U005310]*. Ukrainian Hydrometeorological Institute. Kyiv. (in Ukr.)
- Natsionalna dopovid pro stan navkolyshniho pryrodnoho sere dovysccha v Ukraini v 2003 rotsi [National report on the environment in Ukraine in 2003]. Available at: http://old.menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/Nac_dop_pro_stan_NPS/4_soe2003.pdf (Accessed: 16.01.2019). (in Ukr.)
- NASA Ozone Watch. Available at: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov> (Accessed: 03.01.2019)
- Savenets, M.V. (2016). [The features of temporal distribution of total ozone deviation]. *Materialy dopovidei konferentsii molodykh vchenykh: Meteorologhiia, hidrolohiia, monitorynh dovkillia v konteksti ecolohichnykh vyklykiv siogodennia. [Materials of the Conference: Meteorology, Hidrology, Environmental Monitoring in the context of modern ecological issues]*, november 16–17, Kyiv, pp. 147–149 (in Ukr.)
- Evtushevskiy, O.M. (2014). [Longitudinal Dependence of Seasonal Changes of Total Ozone Content in the Northern

Midlatitudinal Atmosphere]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli* [Ukrainian Journal of Remote Sensing], 3, pp. 49–58 (in Ukr.)

12. Khrgian, A.H. (1973). *Fizika atmosfernogo ozona* [The physics of atmospheric ozone]. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ.)

EXAMINATION OF THE OZONE LAYER CONDITION AND LEVEL OF ULTRAVIOLET IRRADIATION WITHIN THE TERRITORY OF UKRAINE IN 2018

I. V. Dvoretzka, M. V. Savenets, A. P. Umanets, K. M. Komisar

Ukrainian Hydrometeorological Institute, 37, Nauky Pr., 03028 Kyiv, Ukraine,
savenetsm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9429-6209>

The paper contains the results of daily monitoring of the ozone layer condition and level of ultraviolet irradiation within the territory of Ukraine in 2018. The analysis was carried out using the values of total ozone content measured by a satellite device Ozone Monitoring Instrument (OMI) and estimated ultraviolet values / ultraviolet index. The monitoring was implemented for a regular grid with 1° spatial resolution and separately for grid nodes matching the geographic grids of Ukrainian administrative centres. Most of the year total ozone values slightly differed from average long-term values and varied from 270 to 370 Dobson units (D.u.). The paper defines and establishes the reasons for two positive ozone anomalies for the period from February, 24 to March, 4 which resulted in two independent processes of ozone-rich air masses inflow from north. Advective air masses were characterized by high ozone content, which was typical for cold season. First air inflow lasted from February, 24 till February, 26 and caused ozone content increase over the north-western part of Ukraine to 490 D.u. The second inflow over the northern and western parts of Ukraine which lasted from February, 28 to March, 4 caused ozone content increase to 500 D.u. Ozone layer instability over the territory of Ukraine observed from January till April was replaced by slight ozone field variations. From May until the end of the year maximum deviations from average values did not exceed 0.5σ by absolute values. It was established that minimum and maximum ranges of ozone content values constantly changed, however, lower values were observed mainly over the eastern and south-eastern regions. Observations indicated the total ozone spread increase which is typical for seasonal increase of concentrations. Stability of ozone layer total values during the most of the year and absence of significant negative deviations led to ultraviolet index not exceeding 7. In summer, with the highest solar irradiance near the earth's surface, stable ozone content varying within average long-term values not more than by 0.2σ , prevented dangerous ultraviolet index values exceed. Therefore, no high or extremely high ultraviolet irradiation values were observed during the year.

Keywords: total ozone content, ultraviolet irradiation, ultraviolet index, anomaly, deviation

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ОЗОНОВОГО СЛОЯ И УРОВНЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ УКРАИНЫ В 2018 ГОДУ

И. В. Дворецкая, М. В. Савенец, А. П. Уманец, К. М. Комисар

*Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС
Украины и НАН Украины, пр. Науки, 37, 03028, Киев, Украина,*
savenetsm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9429-6209>

В статье приведены результаты ежесуточного мониторинга состояния озонового слоя и уровня ультрафиолетовой облученности над территорией Украины в 2018 году. Анализ произведен на основе измеренных значений общего содержания озона с использованием данных спутникового прибора Ozone Monitoring Instrument (OMI) и рассчитанных значений ультрафиолетовой облученности и УФ-индекса. Мониторинг произведен для регулярной сетки с пространственным разрешением 1° и отдельно в узлах сетки, которые по

географическим координатам наиболее близки к административным центрам областей Украины. Большую часть года значения общего содержания озона мало отличались от средних многолетних и лежали в пределах 270–370 е.Д. Выявлены и установлены причины двух позитивных аномалий озона в период 24 февраля – 4 марта, которые стали результатом различных процессов адвекции насыщенного озоном воздуха с севера. Первый заток наблюдался 24–26 февраля, что стало причиной повышенных значений общего содержания озона до 490 е.Д. на северо-западе Украины. В течении второго затока с 28 февраля по 4 марта на севере и западе территории содержание озона превысило 500 е.Д. Нестабильность озонowego слоя над территорией Украины в течении января–апреля сменилась незначительными вариациями поля озона. С мая до конца года максимальные отклонения не превышали 0.5σ по абсолютным значениям. Установлено, что области наибольших и наименьших значений постоянно сменялись, однако более низкое содержание наблюдалось над восточными и юго-восточными регионами. В конце года диагностирован рост дисперсии значений общего содержания озона, что связано с характерным сезонным увеличением концентраций. В результате стабильности значений общего содержания озона большую часть года и отсутствия значительных отрицательных отклонений, значения УФ-индекса не превысили 7. Летом, при максимальном количестве солнечной радиации возле земной поверхности, стабильное содержание озона, которое не отклонялось более чем на 0.2σ , стало причиной отсутствия опасных превышений УФ-индекса. Таким образом, в течении года не наблюдались очень высокие и экстремальные уровни ультрафиолетовой облученности.

Ключевые слова: общее содержание озона, ультрафиолетовая облученность, УФ-индекс, аномалия, отклонение

Подання до редакції : 04. 03. 2019
Надходження остаточної версії : 17. 04. 2019
Публікація статті : 30. 05. 2019

УДК 504.453:556.535

ОЦІНКА МОЖЛИВИХ ЗМІН ВОДНИХ РЕСУРСІВ РІЧОК ВОДОЗБОРУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ (2021-2050 РР.) ЗА МОДЕЛЯМИ КЛІМАТИЧНОГО СЦЕНАРІЮ RCP4.5

Н. С. Лобода, А. М. Куза, О. М. Козлов

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,
natalie.loboda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>*

Актуальність роботи обумовлена необхідністю передбачення стану водних ресурсів малих та середніх річок Північно-Західного Причорномор'я у ХХІ сторіччі з метою обґрунтування стратегії розвитку господарства Одеської області. Серед водних об'єктів території, яка розглядалась, знаходиться Куяльницький лиман, унікальні бальнеологічні властивості якого використовуються для оздоровлення людей ще з кінця ХІХ сторіччя. В результаті глобального потепління та будівництва великої кількості штучних водойм на водозборах річок з 90-х років минулого сторіччя почалося обміління лиману. Прогнози можливого притоку прісних вод від річок до лиману у найближчому майбутньому мають велике значення для оцінки перспектив охорони та збереження природних ресурсів лиману. Метою роботи є визначення можливого стану водних ресурсів водозбору Куяльницького лиману у період 2021-2050 рр. на базі імітаційного математичного моделювання за моделлю "клімат-стік" з використанням метеорологічних даних 14 моделей кліматичного сценарію RCP4.5. Оцінки зонального (кліматичного) річного стоку були надані для шести метеорологічних станцій, розташованих на водозборі Куяльницького лиману та суміжних з ним територіях. Для кожної із розглянутих моделей були надані осереднені по території оцінки водних ресурсів, ресурсів тепла та вологи. Показано, що зміни водних ресурсів при порівнянні із даними минулого сторіччя будуть знаходитися у межах від -82,6 % (модель CLMcom3) до +75,4 % (модель MPI-CSC2). Для подальших розрахунків була розглянута середньостатистична модель, яка являє собою результат осереднення усіх розглянутих моделей. Установлено, що найкраще узгодження розрахункових та фактичних тенденцій змін кліматичних чинників формування стоку спостерігається саме для середньої статистичної моделі. Згідно із цією моделлю на водозборі Куяльницького лиману у 2021-2050 рр. очікується зростання ресурсів тепла на +12,3 % при незначному (-1,80 %) зменшенні ресурсів зволоження. В результаті зменшення водних ресурсів території буде становити 25,5 %. Перехід до природного річного стоку окремих водотоків, які живлять лиман, дозволив виявити, що у 2021-2050 рр. згідно із сценарієм RCP4.5 середній багаторічний приплив прісної води від річки Великий Куяльник буде становити 16,5 млн. м³, а приплив від інших водотоків – 1.3 млн. м³.

Ключові слова: Куяльницький лиман, модель клімат-стік, моделі кліматичного сценарію RCP4.5, зміни водних ресурсів

1. ВСТУП

На території Північно-Західного Причорномор'я на початку ХХІ сторіччя відбувається зростання температур повітря на фоні майже незмінних опадів, що викликало зменшення водних ресурсів досліджуваної території [1]. Скорочення припливу прісних вод від водотоків, які допіру живили закриті лимани Причорномор'я, призвело до всихання останніх, зменшення площ водної поверхні та об'ємів, швидкого зростання солоності води, порушення сталого водного та

сольового балансів [2]. Ці обставини створили загрозу погіршення рекреаційних властивостей лиманів та вплинули на умови риборозведення [3]. Перед загрозою знищення опинилися унікальні природні ресурси Куяльницького лиману [4], на території якого функціонує з кінця ХІХ сторіччя Кліничний санаторій імені Пирогова. З метою запобігання цій загрозі був введений у дію у 2014 р. трубопровід "море-лимани", через який подаються додаткові об'єми води до лиману з Одеської затоки, запобігаючи його вси-

ханню. Разом із морською водою до лиману з Одеської затоки надходять солі та забруднювальні речовини. У зв'язку із цим Одеською облдержадміністрацією [5] була поставлена задача оцінки перспектив часткової компенсації дефіциту води у лимані прісними водами водотоків, які впадають до Куяльницького лиману. Стік річок, які живлять Куяльницький лиман, суттєво трансформований внутрішньорічним його регулюванням штучними водоймами [6]. В умовах потепління наслідки впливу зарегулювання великою кількістю ставків та малих водосховищ посилюються [7]. Виявлено, що збільшення припливу вод від річок водозбору Куяльницького лиману (насамперед, річки Великий Куяльник) можливе лише за умов проведення оптимізації штучних водойм, що буде сприяти відновленню природного стоку. Проте доцільність заходів по відновленню стоку річки Великий Куяльник та інших приток від надмірної кількості штучних водойм залежить від клімату найближчого майбутнього [8]. У випадку значного зменшення стоку річок водозбору Куяльницького лиману за рахунок потепління, суттєвий вплив якого розпочався в Україні з 1989 р. [9], заходи по відновленню природного стоку річки за рахунок оптимізації водогосподарської діяльності не принесуть бажаного ефекту [10]. За моделлю "клімат-стік" визначено, що природний середній багаторічний стік річки Великий Куяльник за розрахунковий період 1989-2014 рр. мав би становити 20,4 млн. м³, а фактично (за даними спостережень) дорівнював лише 3,5 млн.м³. Установлено, що лише 21,5 % зменшення стоку обумовлено змінами клімату, які відбулися [11]. Більш ніж 50 % зменшення водних ресурсів лиману пов'язане із водогосподарською діяльністю, а саме – із втратами на майже щорічне заповнення штучних водойм, повний об'єм яких на деяких притоках перевищує річний об'єм стоку [12]. Актуальність даної роботи обумовлена необхідністю прогнозування можливих змін водних ресурсів водозбору Куяльницького лиману у майбутньому для наукового обґрунтування заходів по їх збереженню та відновленню.

Метою роботи є визначення можливого стану водних ресурсів водозбору Куяльницького лиману у період 2021-2050 рр. на базі імітаційного математичного моделювання за моделлю "клімат-стік" з використанням даних 14 моделей кліматичного сценарію RCP4.5. Об'єктом дослідження є річки водозбору Куяльницького лиману. Предметом дослідження є характеристики природного річного стоку приток, які впа-

дають до Куяльницького лиману, у найближчі десятиріччя XXI сторіччя. У попередніх дослідженнях можливих наслідків змін клімату та водних ресурсів на території Північно-Західного Причорномор'я були використані сценарії A1B, A2 [13], та за однією з моделей сценаріїв RCP8.5 та RCP4.5 [14]. Отримані результати дозволили установити формування стійких тенденцій до зменшення припливу прісних вод від водотоків у Куяльницький лиман за рахунок потепління. В даній роботі для прогнозів можливого стану водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману.

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У даній роботі розглянуто 14 регіональних математичних моделей сценарію RCP4.5, який відноситься до сценаріїв концентрацій парникових газів сімейства RCP (Representative Concentration Pathways – «характерні траєкторії змін концентрації»). Сценарії RCP являють собою набір сценаріїв, в яких задають зміни середнього вмісту парникових газів в атмосфері Землі в залежності від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших факторів. Ці сценарії прийняті в П'ятій Доповіді IPCC (2013) [15]. Сценарій RCP4.5 відноситься до "помірних" і передбачає, що глобальні викиди парникових газів у атмосферу Землі повинні почати зменшуватись після 2040 р. Як розрахунковий обраний 30-ти річний період 2020-2050 рр.

Оцінка водних ресурсів досліджуваної території за метеорологічними даними виконана за моделлю "клімат - стік", розробленою в ОДЕКУ під керівництвом професорів Є. Д. Гопченка та Н. С. Лободи [16]. Модель надає можливість розрахунків стоку річок при відсутності даних спостережень, значному перетворенні стоку водогосподарською діяльністю та за даними кліматичних сценаріїв [17]. Базовим для визначення природного стоку річки є рівняння водно-теплогового балансу, яке при використанні сценаріїв змін регіонального клімату представляється у такому виді [18]

$$Y_k' = X_k' + (w_1 - w_2)' - E_m' \left[1 + \left(\frac{X_k' + (w_1 - w_2)'}{E_m'} \right)^n \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (1)$$

де Y_k' – значення кліматичного стоку за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм;
 E_m' – значення максимально можливого випаровування за розрахунковий період в умовах змін

клімату, мм; X' – сума річних опадів за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм; $(w_1 - w_2)'$ – зміна запасів води у діяльному шарі ґрунту за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм; n – параметр, який інтегрує вплив фізико-географічних умов формування стоку й береться рівним 3. При переході до багаторічного періоду структура рівняння водно-теплогового балансу набуває вигляду

$$\overline{Y_K'} = \overline{X'} - \overline{E_m'} \left[1 + \left(\frac{\overline{X'}}{\overline{E_m'}} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (2)$$

де $\overline{Y_K'}$ – середня багаторічна величина кліматичного річного стоку в умовах змін клімату, мм; $\overline{E_m'}$ – середня багаторічна величина максимально можливого випаровування в умовах змін клімату, яка визначається за сценарними температурами повітря, мм; $\overline{X'}$ – середня багаторічна величина річних сум опадів в умовах змін клімату, мм.

За моделлю “клімат-стік” були оцінені характеристики ресурсів зволоження $\overline{X'}$, теплоенергетичних ресурсів $\overline{E_m'}$ клімату та природні водні ресурси $\overline{Y_K'}$ для 30-ти річного періоду (2021-2050 рр.) по кожній із 14 регіональних моделей, які реалізували сценарій RCP4.5. Слід зазначити, що середня багаторічна величина річного стоку $\overline{Y_K'}$, розрахована за метеорологічними даними, має назву кліматичного стоку і може розглядатись як характеристика природного (не порушеного водогосподарською діяльністю) зонального річного стоку. Відносна похибка між середніми багаторічними значеннями річного стоку, установленого за даними спостережень, та розрахованого за моделлю “клімат-стік” знаходиться у межах $\pm 10\%$ [19]. Розрахунки середніх багаторічних значень кліматичного річного стоку виконувались для шести метеорологічних станцій (Любашівка, Одеса, Роздільна, Сербка, Затишся, Вознесенськ), які знаходяться на водозборі Куяльницького лиману або на прилеглих до нього територіях. Оцінка змін кліматичних чинників та кліматичного стоку надавалися у вигляді відносних відхилень δ середніх багаторічних характеристик, які спостерігались до початку значущих кліматичних змін (1989 р.), та у розрахунковий період 2021-2050 рр. Оцінки ресурсів вологи,

тепла та водних ресурсів виконувались як для кожної із 14 моделей сценарію RCP4.5, так і для середньостатистичної моделі, який є результатом осереднення даних, отриманих для всіх розглянутих моделей. Такий підхід дозволив урахувати особливості кожної із 14 моделей регіональних змін клімату та отримати осереднений варіант, у якому “нівелюються” похибки, окремо розглянутих моделей. За результатами просторового узагальнення зонального річного стоку виконаний перехід до середніх багаторічних значень природного стоку з урахуванням впливу підстильної поверхні [20].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Під час розгляду можливих змін температур повітря (за 14 моделями сценарію RCP4.5) установлено, що у середньому очікується статистично значуще їх зростання як за рік (рис. 1), так і теплий й холодний періоди.

Якщо розглянути коливання середніх температур повітря холодного періоду (ХІІ-ІІІ) по метеостанції Любашівка, яка знаходиться в області формування стоку річки Великий Куяльник і є найбільш впливовою, то можна зробити висновки, що температури повітря переважно знаходяться у області додатних значень. Ця обставина указує на несприятливі умови для формування весняного водопілля, оскільки при додатних температурах повітря у холодний період зменшується запас води у сніговому покриві та зростають втрати талих вод на інфільтрацію у непромерзлі ґрунти. Від'ємні температури можливі тільки у 2020, 2024, 2027 роки (рис. 2).

Дослідження хронологічного ходу річних сум опадів показали, що у середньому на протязі розрахункового періоду 2021-2050 рр. статистично значущі тренди у коливаннях опадів формуватися не будуть (рис. 3, рис. 4).

Виявлено, що прогноз температур повітря та опадів за середньостатистичною моделлю добре узгоджується із даними спостережень (рис. 5, рис. 6), чого не можна сказати про окремі моделі (рис. 7).

Прогнози змін кліматичних чинників формування стоку та стану водних ресурсів водозбору Куяльницького лиману у розрахунковий період 2021-2050 рр. надавалися як у абсолютних величинах, так і у вигляді відносних відхилень δ середніх багаторічних характеристик, які спостерігались до 1989 р., та у розглядуваний розрахунковий період (2021-2050 рр.).

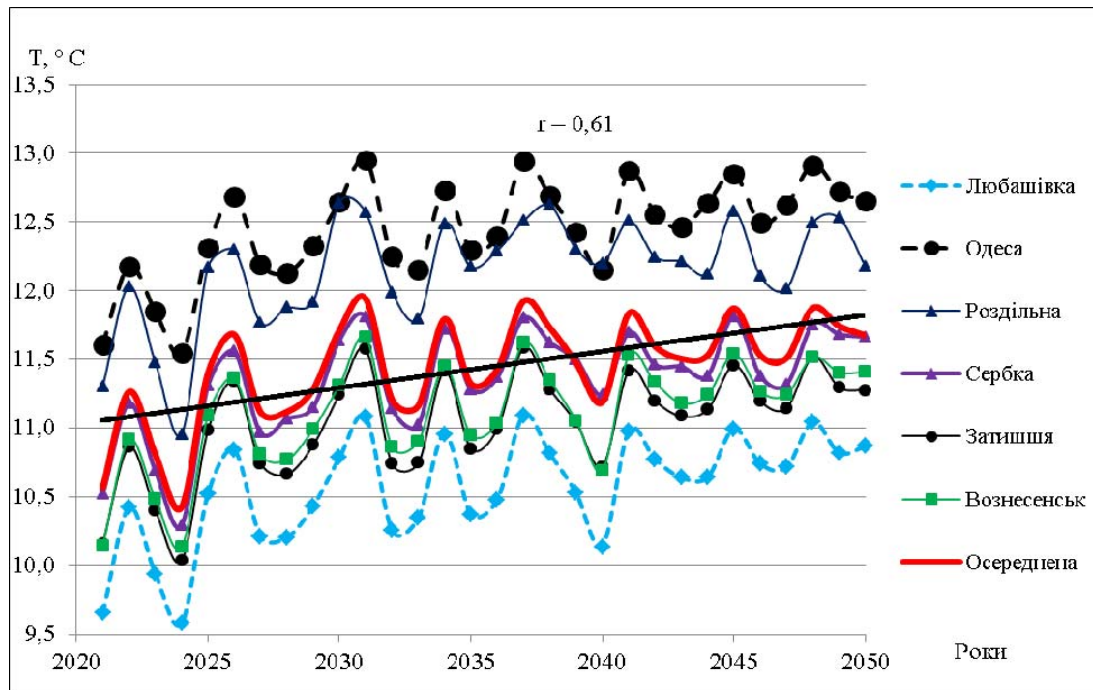


Рис. 1 - Суміщені графіки хронологічного ходу середніх річних температур повітря у розрахунковий період 2021-2050рр., середньостатистична модель та осереднена по даним усіх метеостанцій регресійна залежність температур від часу

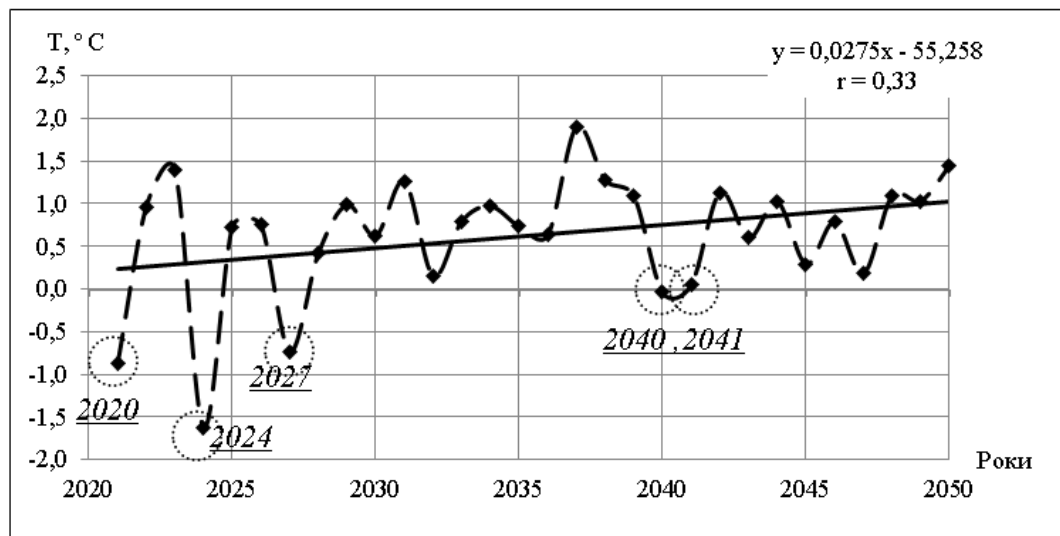


Рис. 2 – Хронологічний хід середніх за холодний період (XII, I-III) температур повітря по метеостанції Любашівка (середньостатистична модель)

Для річних сум опадів оцінка їх змін за розрахунковий період (2021-2050 рр.) виконувалась таким чином

$$\delta = \frac{\overline{X}' - \overline{X}}{\overline{X}}, \quad (3)$$

де $\overline{X}'$ - середня багаторічна величина річних

сум опадів, розрахована за сценарними даними для розрахункового періоду 2021-2050 рр., мм; $\overline{X}$ - середня багаторічна величина річних сум опадів, розрахована за даними до 1989 р. (до початку значущого впливу глобального потепління).

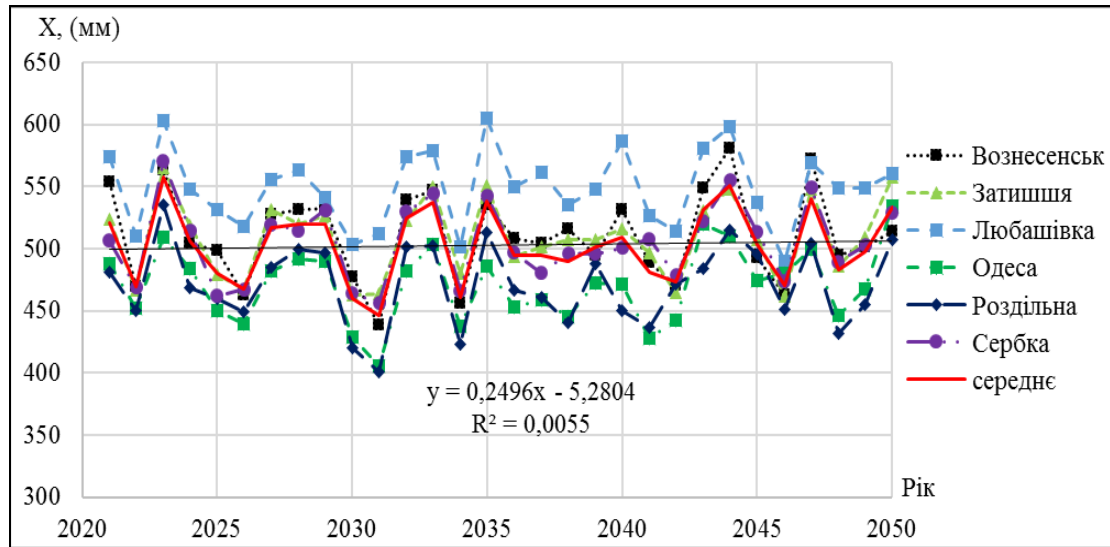


Рис. 3 – Хронологічний хід річних коливань сум опадів за сценарієм RCP4.5 (середньо статистична модель)

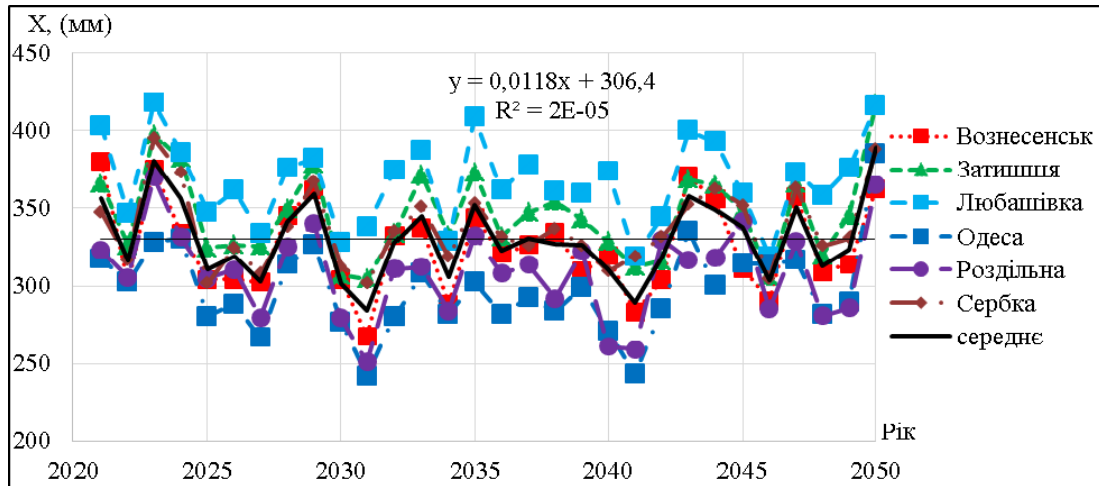


Рис. 4 – Хронологічний хід річних коливань опадів теплого періоду за сценарієм RCP4.5 (середньо статистична модель)

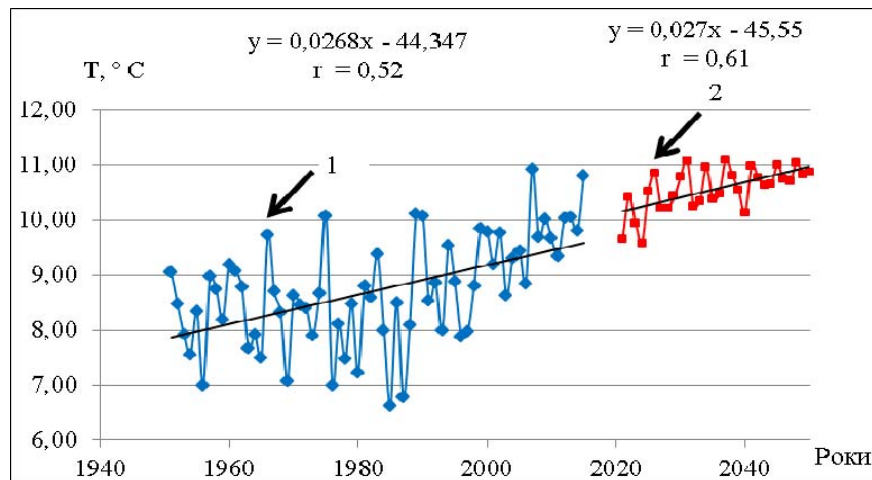


Рис. 5 – Суміщені хронологічні графіки спостережених і прогнозованих середньорічних температур повітря за середньостатистичною моделлю по метеостанції Любашівка (1- спостережені дані, 2 – прогнозовані дані)

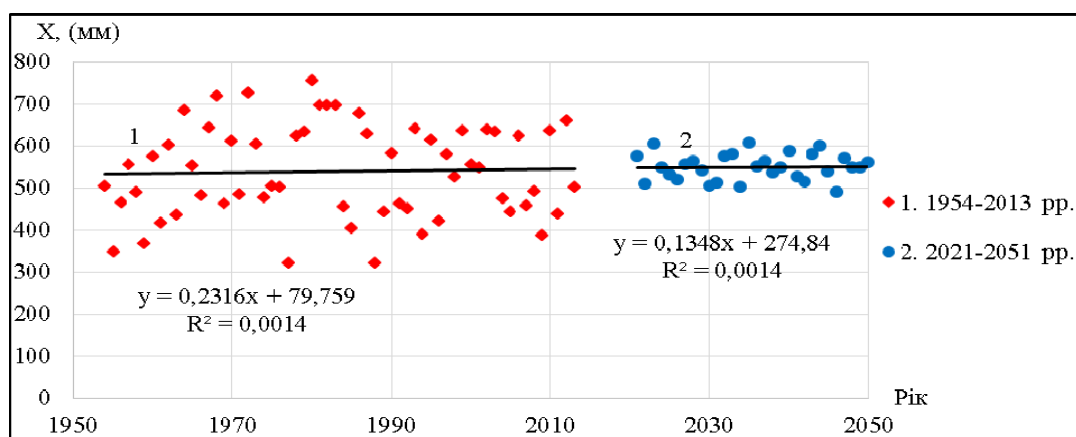


Рис. 6 – Хронологічний хід річних сум опадів ст. Любашівка за сценарієм RCP4.5 (середньостатистична модель)

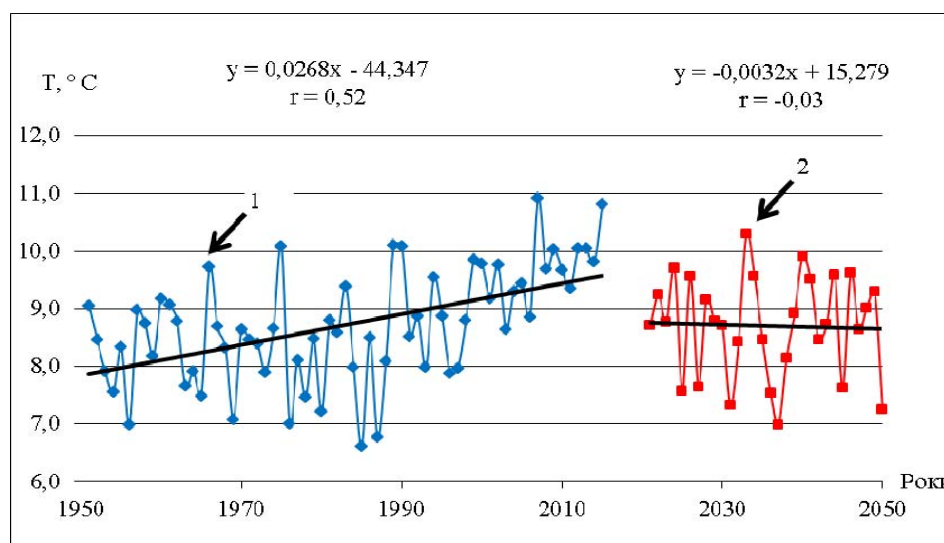


Рис. 7 – Суміщені хронологічні графіки спостережених середньорічних температур повітря і прогнозованих температур повітря за моделлю DMI, метеостанція Любашівка (1- спостережені дані, 2 – прогнозні дані)

Установлено (табл. 1), що крайове зменшення ресурсів зволоження (-24,5 %) відбуватиметься за моделлю CLMcom3, а крайове зростання (+36,4) – за моделлю MPI-CSC2.

Відносне відхилення для максимально можливого випаровування визначалось за таким виразом

$$\delta = \frac{\overline{E_m'} - \overline{E_m}}{\overline{E_m}}, \quad (4)$$

де $\overline{E_m'}$ - середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за сценарними даними, мм; $\overline{E_m}$ - середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за даними до 1989 р. (до початку значущого впливу глобального потепління).

Зростання теплоенергетичних ресурсів клімату буде відбуватися за всіма моделями.

Таблиця 1 – Зміни середніх багаторічних значень річних сум опадів за розрахунковий період 2021-2050 рр.

Модель	Зміни ресурсів зволоження, %
CLMcom1	-19,2
CLMcom2	-23,6
CLMcom3	-24,5
CLMcom4	-9,20
CNRM	-0,40
DMI	-18,4
KNM I1	-12,4
KNM I2	-1,9
MPI-CSC1	+2,0
MPI-CSC2	+36,4
SMHI1	+7,8
SMHI2	-0,40
SMHI3	+8,70
SMHI4	+13,5
Середня статистична модель	-1,80

Найбільше зростання установлене для моделі CLMcom3 і становитиме +32,1 %, найменше - для моделі DMI і дорівнюватиме +0,91% (табл. 2).

Таблиця 2 – Зміни середніх багаторічних значень тепло-енергетичного еквіваленту за розрахунковий період 2021-2050 рр. згідно із моделями сценарію RCP4.5

Модель	Зміни ресурсів тепла, %
CLMcom1	+17,6
CLMcom2	+21,2
CLMcom3	+32,1
CLMcom4	+17,3
CNRM	+5,66
DMI	+0,91
KNMI1	+14,3
KNMI2	+15,9
MPI-CSC1	+15,4
MPI-CSC2	+8,83
SMHI1	+3,56
SMHI2	+9,70
SMHI3	+21,2
SMHI4	+11,6
Середня статистична модель	+12,3

Характеристикою кліматичних умов формування стоку є співвідношення ресурсів вологи і тепла β_X , яке також розглядається як характеристика посушливості клімату

$$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}, \quad (5)$$

де $\bar{X}$ - середнє багаторічне значення річних опадів, мм; $\bar{E}_m$ - середнє багаторічне значення максимально можливого випаровування, мм.

Більшість індексів посушливості базуються на порівнянні запасів води $\bar{X}$ із втратами на випаровування, які представляються через радіацію, температури повітря і інші кліматичні змінні. У даному випадку використаний тепло-енергетичний еквівалент або максимально можливе випаровування $\bar{E}_m$. За величиною β_X виділяються області зволоженості (посушливості) [21]:

$$\beta_X \geq 1,0 - \text{зона надмірного зволоження}, \quad (6)$$

$$0,8 < \beta_X < 1,0 - \text{зона достатнього зволоження}, \quad (7)$$

$$0,5 \leq \beta_X < 0,8 - \text{зона недостатнього зволоження}, \quad (8)$$

$$0,2 < \beta_X < 0,5 - \text{напіваридна зона}, \quad (9)$$

$$0,03 < \beta_X < 0,2 - \text{аридна зона}, \quad (10)$$

$$\beta_X < 0,03 - \text{гіпераридна зона}. \quad (11)$$

Значення $\beta_X = 0,5$ розглядається як межа між зоною недостатнього зволоження та напіваридною зоною. Територія розташована нижче ізолінії $\beta_X < 0,5$ означає, що вона знаходиться в напіваридній зоні.

Згідно із даними, отриманими за різними сценаріями (табл. 3), найбільш посушливий клімат буде спостерігатися за моделлю

Таблиця 3 – Показник зволоженості (посушливості) для різних моделей сценарію RCP4.5

Модель	$\bar{X}'$, мм	$\bar{E}_m'$, мм	β_X
CLMcom1	422	1096	0.38
CLMcom2	400	1130	0.35
CLMcom3	395	1221	0.32
CLMcom4	474	1087	0.44
CNRM	521	981	0.53
DMI	427	935	0.46
KNMI1	458	1057	0.43
KNMI2	513	1073	0.48
MPI-CSC1	534	1069	0.50
MPI-CSC2	712	1009	0.70
SMHI1	563	960	0.59
SMHI2	520	1017	0.51
SMHI3	568	1123	0.51
SMHI4	593	1034	0.57
Середня статистична модель	513	1043	0.49

CLMcom3 (досліджувана територія попадає у напіваридну зону), найбільш зволожений – за моделлю MPI-CSC2 (досліджувана територія попадає в зону недостатнього зволоження).

Відносне відхилення середніх багаторічних величин зонального (кліматичного) стоку встановлювалося за виразом

$$\delta = \frac{\bar{Y}'_K - \bar{Y}_K}{\bar{Y}_K}, \quad (12)$$

де $\bar{Y}'_K$ - середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за сценарними даними, мм; $\bar{Y}_K$ - середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за даними до 1989 р. (до початку значущого впливу глобального потепління).

Аналіз змін середніх багаторічних величин річного стоку, обчислених за 14 моделями змін

клімату, які реалізували сценарій RCP4.5, показав, що зменшення водних ресурсів на досліджуваній території більш ніж 70% можливе при використанні у розрахунках даних моделі CLMcom3 (табл. 4).

Таблиця 4 – Зміни середніх багаторічних значень зонального (кліматичного) річного стоку, визначеного за моделлю «клімат-стік» для розрахункового періоду 2021-2050 рр.

Модель	Зміни водних ресурсів, %
CLMcom1	-71,7
CLMcom2	-69,6
CLMcom3	-82,6
CLMcom4	-48,4
CNRM	-9,72
DMI	-54,8
KNM I1	-49,8
KNM I2	-35,6
MPI-CSC1	-21,6
MPI-CSC2	+75,4
SMHI1	+28,4
SMHI2	-16,7
SMHI3	-18,4
SMHI4	+ 28,0
Середня статистична модель	-25,5

Саме сценарію CLMcom3 відповідає найбільш посушливий клімат (див. табл. 3). Прогнозоване зростання водних ресурсів може перевищувати рубіж 70 % у моделі MPI-CSC2 і досягати 75,2 %. Для цього сценарію характерне найбільше зростання ресурсів зволоження (+36,4 %) на фоні невеликого зростання ресурсів тепла (+8.83 %). Результати моделювання показують, що за більшістю моделей (78,6 %) прогнозується зменшення водних ресурсів.

Для середньостатистичної моделі отримано, що у 2021-2050 рр. на водозборі Куяльницького лиману середні багаторічні значення сум кліматичних чинників формування стоку та водних ресурсів будуть змінюватися таким чином: суми річних опадів майже не змінюватимуться (- 1,80 %), максимально можливе випаровування зросте на 12.3 %, зональні (кліматичні) водні ресурси зменшаться на 25,5 %.

За результатами, отриманими для середньостатистичної моделі сценарію RCP4.5, були визначені статистичні параметри природного річного стоку у період 2021-2050 рр. (табл. 5). Визначено, що сумарний приплив прісної води до Куяльницького лиману у природних (непорушених водогосподарської діяльності) умовах буде становити 17,8 млн. м³. Середній багаторічний приплив води від річки Великий Куяльник дорівнюватиме 16,5 млн. м³.

Порівняння прогнозних об'ємів притоку прісних вод до Куяльницького лиману наданих за сценарієм A1B (модель REMO) [22] та для сценарію RCP4.5 (середня статистична модель) у розрахунковий період 2021-2050 рр. підтверджують гіпотезу про зберігання тенденції до зменшення водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману (табл. 6). Як вже було відзначено у наукових роботах Лободи Н. С. та Божок Ю. В. [23] наслідки впливу змін клімату на стан водних ресурсів у сценарії RCP4.5 проявляються у меншій мірі ніж виявлені у сценарії A1B (модель REMO). Отриманий результат пов'язаний із меншою інтенсивністю потепління, яке прогнозується за середньостатистичною моделлю сценарію RCP4.5.

Таблиця 5 - Статистичні параметри природного річного стоку, визначені за моделлю «клімат-стік» для розрахункового періоду 2021-2050, сценарій RCP4.5

Річки та балки	Норма кліматичного стоку, $\bar{Y}_k$, мм	Середня висота водозбору, $H_{сер.}$, м	Площа водозбору, F_2 , км ²	Перехідний коефіцієнт, $K_{пер}$	Параметри природного річного стоку			
					$\bar{Y}_{пр}$, мм	$\bar{W}_{пр}$, м ³ 10 ⁶	C_v	C_s
р.Великий Куяльник	17,1	120	1860	0,52	8,9	16,5	1,61	2,74
р.Довбока	13,4	35,0	69,5	0,369	4,95	0,344	2,32	3,94
б.Млинова	11,9	25,0	2,20	0,235	2,80	0,0616	3,31	5,61
б.Баштанна	11,9	30,0	8,70	0,25	2,98	0,0259	3,18	5,40
р.Кубанка	12,7	37,0	136,5	0,27	3,42	0,467	2,92	4,96
б.Гіндельдорфська	11,2	21,0	15,0	0,22	2,46	0,0369	3,58	6,09
б.Корсунцівська	11,2	20,0	17,0	0,22	2,46	0,0418	3,58	6,09
Боковий приплив	11,2	27	142	0,24	2,68	0,381	3,91	5,77
Сумарний приплив прісних вод до лиману						17,8		

Таблиця 6 - Приплив прісних вод до басейну Куяльницького лиману у минулому (до 1989р.) та за розрахунковий період 2021-2050 згідно із даними сценаріїв

Річки та балки	Об'єми природного річного стоку до 1989 р., м ³ 10 ⁶	Об'єми природного річного стоку для сценарію RCP4.5 (середня статистична модель), м ³ 10 ⁶	Об'єми природного річного стоку для сценарію A1B (модель M10), м ³ 10 ⁶
р.Великий Куяльник	20,4	16,5	12,7
р.Довбока	0,460	0,344	0,219
б.Млинова	0,0352	0,0616	0,0389
б.Баштанна	0,0357	0,0259	0,0160
р.Кубанка	0,628	0,467	0,281
б.Гіндельдорфська	0,0518	0,0369	0,0213
б.Корсунцівська	0,0547	0,0418	0,0236
Бічний приплив	0,530	0,381	0,230
Сума	22,2	17,8	13,5

4. ВИСНОВКИ

Порівняння визначених тенденцій спостережених і прогнозованих чинників формування стоку (опадів та температур повітря) дозволило зробити висновок, що застосування метеорологічних даних середньостатистичної моделі, яка являє собою осереднені дані усіх 14 моделей сценарію RCP4.5 є найбільш доцільним, оскільки установлені фактичні (за даними спостережень) і прогнозні тенденції добре узгоджуються. Згідно із отриманими результатами збільшення середнього багаторічного максимально можливого випаровування у період 2021-2050 рр. на досліджуваній території буде становити у середньому 12,5 %, середні багаторічні суми опадів за рік залишаться незмінними. Такий розподіл кліматичних чинників формування стоку призведе до зменшення водних ресурсів досліджуваної території на 25,5 % у порівнянні із їх станом до 1989 р. Очікуваний приплив прісних вод у природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умовах від річки Великий Куяльник до Куяльницького лиману буде становити 16,5 млн. м³, а від усіх інших приток – 1,3 млн. м³. Отриманий прогноз уточнює дані, надані за сценарієм A1B (модель REMO) для періоду 2021-2050 рр., і підтверджує необхідність продовження заходів, спрямованих на збереження природних ресурсів Куяльницького лиману.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса : Вид. "ТЕС", 2015. 520 с.
2. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С. Научно-методические подходы к оценке составляющих водно-солевых балансов лиманов. *Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья* / под ред. Ю. С. Тучковенко, Е. Д. Гопченко. Одесса : ТЭС, 2011. С. 12-44.
3. Шекк В. В., Лобода Н. С. Вплив змін клімату на структуру та функції водних екосистем, стан природних іхтіоценозів і перспективи розвитку аквакультури. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: тези доповідей Міжнародної наук.-практ. конф., 13-14 березня*. Київ, 2018. С. 318-323.
4. Водний режим та гідроекологічні характеристики басейну Куяльницького лиману : монографія / за ред. Н. С. Лободи, Є. Д. Гопченка. Одеса : ТЕС, 2016. 332 с.
5. Регіональна програма збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки. Затверджена рішенням Одеської обласної ради № 270-VI від 28.10.2011 р. (з усіма змінами та доповненнями). Одеса, 2011. 13 с.
6. Loboda N. S., Bozhok Yu. V. Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region. *International Journal of Research in Earth and Environmental Sciences*. 2015. 02(9). Pp. 1-6.
7. Лобода Н. С., Тучковенко Ю. С., Гриб О. М. Обґрунтування ефективності заходів по відновленню стоку річки Великий Куяльник з метою стабілізації гідрологічного режиму Куяльницького лиману на початку ХХІ сторіччя (до 2030 р.). *Проблеми гідрології, гідрохімії, гідро екології*: тези доповідей VII Всеукраїнської наук. конф. з міжнародною участю, присвяченої 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України, 13-14 листопада. Київ, 2018. С. 22-23.
8. Рациональное використання та відновлення водних ресурсів водозбору р. Великий Куяльник та Куяльницького лиману у кліматичних умовах ХХІ сторіччя / Н. С. Лобода та ін. *Вода: проблеми та шляхи вирішення*: збірник статей наук.-практ. конф. з міжнародною участю, 5-8 липня, Рівне. 2017. С. 211-216.
9. Гребін В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) : монографія. Київ : Ніка-Центр, 2010. 316 с.
10. Тучковенко Ю. С., Лобода Н. С., Кушнір Д. В. Результати чисельного моделювання внутрішньорічної

- мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману за різних обсягів стоку річки Великий Куяльник. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2017. №20. С. 105-119.
11. Лобода Н. С., Отченаш Н. Д., Гриб О. М. Опис штучних водойм на водозборі річки Великий Куяльник та регламентування їх роботи у сучасності та майбутньому. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. №21. С. 50-59.
12. Лобода Н. С., Куза А. М. Антропогенне навантаження на стік річки Великий Куяльник в умовах кліматичних змін. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2017. Т. 3(46). С. 33-41.
13. Лобода Н. С., Сербова З. Ф., Божок Ю. В. Оцінка впливу змін клімату на водні ресурси України на основі моделі “клімат-стік” за сценарієм глобального потепління А2. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2015. Т. 1(36). С. 32-40.
14. Лобода Н. С., Божок Ю. В. Вплив кліматичних змін на водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я у сценарних умовах (RCP8.5 та RCP4.5). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 2 (41). С. 48-58
15. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC: Climate Change 2013 / Edited by: T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
16. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления. *Гидробиологический журнал*. 2000. Т. 36, №3. С. 67-78.
17. Лобода Н. С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния : монография. Одесса : Экология, 2005. 208 с.
18. Loboda N. S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence. *Climate and Water*. 1998. Vol. 1. Pp.1486-1494.
19. Лобода Н. С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев): Глобальные и региональные изменения климата / под ред. В. М. Шестопалова, В. Ф. Логинова, В. И. Осадчего и др. Киев : Ніка-Центр, 2011. С. 340-352.
20. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях) : монография. Київ : КНТ, 2005. 188 с.
21. Родда Дж. Грани гидрологии : монография. Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. Т. 2. 534 с.
22. Лобода Н. С., Сербова З. Ф., Божок Ю. В. Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В). *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. №15. С. 149-159.
23. Лобода Н. С., Божок Ю. В. Вплив змін клімату на водні ресурси водозбору Куяльницького лиману у сценарних кліматичних умовах. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2015. №16. С. 189-195.
2. Gopchenko, E.D. & Loboda, N.S. (2012). Nauchno-metodicheskie podkhody k otsenke sostavlyayushchikh vodno-solevykh balansov limanov [Scientific and methodological approaches to the assessment of components of water-salt balances of estuaries]. In: Tuchkovenko, Yu.S. and Gopchenko, E.D. (eds). *Aktual'nye problemy limanov severo-zapadnogo Prichernomor'ya* [Actual problems of estuaries of the northwestern Black Sea coast]. Odessa: TES Publ, pp.12-44. (in Russ.).
3. Shekk, V.V. & Loboda, N.S. (2018). [The impact of climate change on the structure and functions of aquatic ecosystems, the state of the natural ichthyocenosis and prospects for the development of aquaculture]. *Tezy dopovidei Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii "Klimatichni zminy ta silske hospodarstvo. Vyklyky dlia aharnoi nauky ta osvity"* [Theses of reports of the International Scientific and Practical Conference "Climate change and agriculture. Challenges for agrarian science and education"], 13-14 march. Kyiv, pp. 318-323. (in Ukr.)
4. Loboda, N.S. & Gopchenko, E.D. (eds). (2016). *Vodnyy rezhym ta hidroekologichni kharakterystyky Kuyal'nyts'koho lymanu* [Water regime and hydroecological characteristics of Kuyalnitskyi Liman]. OSENU. Odessa: TES. (in Ukr.)
5. The Odessa Regional Council. (2011). *Rehionalna prohrama zberezhenia ta vidnovlennia vodnykh resursiv u baseini Kuyal'nyts'koho lymanu na 2012-2016 roky № 270-VI vid 28.10.2011 r. (z usima zminamy ta dopovnenniamy)* [Regional program for the conservation and restoration of water resources in the Kuyalnik estuary basin for 2012-2016 No. 270-VI of October 28, 2011 (with all the changes and additions)]. (in Ukr.)
6. Loboda, N.S. & Bozhok, Yu.V. (2015). Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region. *International Journal of Research in Earth and Environmental Sciences*, 02(9), pp. 1-6.
7. Loboda, N.S., Tuchkovenko, Yu.S. & Hryb, O.M. (2018). [Justification of the effectiveness of measures to restore the flow of the Bolshaya Kuyalnik river in order to stabilize the hydrological regime of the Kuyalnik Liman at the beginning of the 21st century (until 2030)]. *Tezy dopovidei VII Vseukrainskoi naukovoï konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu, prsviachenoi 100-richchiu vid dnia zasnovannia Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy "Problemy hidrolohii, hidrokhimii, hidroekolohii"*. [Theses of reports of the VII All-Ukrainian Scientific Conference with International participation "Problems of hydrology, hydrochemistry, hydroecology"], 13-14 November. Kyiv, pp. 22-23. (in Ukr.)
8. Loboda, N.S. et al. (2017). [The rational use and restoration of water resources of the catchment area of Velikiy Kuyalnik and Kuyalnitsky estuary in the climatic conditions of the XXI century]. *Zbirnyk statei naukovopraktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu "Voda: problemy ta shliakhy vyryshennia"* [Collection of articles of a scientific and practical conference with international participation "Water: Problems and Solutions"], 5-8 July. Rivne, pp. 211-216. (in Ukr.)
9. Grebin, V.V. (2010). *Suchasnyi vodnyi rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolozhichnyi analiz)*. [Modern streamflow regime of rivers in Ukraine (landscape-hydrology analysis)]. Kyiv: Nika-Centr Publ. (in Ukr.)
10. Tuchkovenko, Yu.S., Loboda, N.S. & Kushnir, D.V. (2017). [Results of numerical modeling of intra-year variability of the hydrological characteristics of the Kuyalnitsky liman

REFERENCES

1. Stepanenko, S.M. & Pol'ovyy, A.M. (eds). (2015). *Klimatichni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy* [Climate changes and its impact on sectors of the economy of Ukraine]. Odessa. (in Ukr.)

- for different volumes of the river flow of the Big Kuyalnik]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 20, pp. 105-119. (in Ukr.)
11. Loboda, N.S., Otchenash, N.D. & Hryb, O.M. (2018). [Description of artificial reservoirs within the catchment area of the Great Kuyalnik river and regulation of their operation at the present time and in future]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 21, pp. 50-59. (in Ukr.)
 12. Loboda, N.S. & Kuza, A.M. (2017). [Anthropogenic load on the flow of the Great Kuyalnik River in the context of climate change]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia* [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology], 3(46), pp. 33-41. (in Ukr.)
 13. Loboda, N.S., Serbova, Z.F. & Bozhok, Ju.V. (2015). [The assessment of the impact of climate change on water resources of Ukraine based on the model "climate-runoff" under global warming scenario A2]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia* [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology], 1 (36), pp. 8-17. (in Ukr.)
 14. Loboda, N.S. & Bozhok, Ju.V. (2016). [Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region in scenario terms (RCP8.5 та RCP4.5)]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia* [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology], 2(41), pp. 45-58. (in Ukr.)
 15. Stocker, T.F., Qin D. & Plattner G.-K. (eds). (2013). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC: Climate Change 2013*. Cambridge University Press, Camb, United Kingdom and New York, NY, USA.
 16. Gopchenko, E.D. & Loboda, N.S. (2000). [Estimation of possible changes of water resources of Ukraine in the conditions of the global warming.]. *Gidrobiologicheskii zhurnal* [Hydrobiological journal], 36(3), pp. 67-78.
 17. Loboda, N.S. *Raschety i obobshcheniya kharakteristik godovogo stoka rek Ukrainy v usloviakh antropogennogo vlianiya*. [Calculations and generalizations of descriptions of annual flow of the rivers of Ukraine in the conditions of anthropogenic influence]. Odessa: Ecology Publ. (in Ukr.)
 18. Loboda, N.S. (1998). The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence. *Climate and Water*, 01, pp. 1486-1494.
 19. Loboda, N.S. (2011). Vliianie izmeneniy klimata na vodnye resursy Ukrainy (modelirovanie i prognozy po dannym klimaticheskikh scenariiev) [Influence of changes of climate on the water resources of Ukraine (design and prognoses from data of climatic scenarios)]. In: Shestopalov, V.M., Loginov, V.F. and Osadchii, V.I. (eds). *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata* [Global and regional changes of climate]. Kiev: Nika-Centr, pp. 340-352. (in Russ.)
 20. Loboda, N.S. & Gopchenko, E.D. (2006). *Vodnye resursy severo-zapadnogo Prichernomor'ya (v estestvennykh i narushennykh khozyaystvennoy deyatel'nost'yu usloviakh)* [Water resources of the North-Western Black Sea region (in natural and disturbed economic conditions)]. Kyiv: KNT Publ. (in Russ.)
 21. Rodda, Dzh. (1987). *Grani gidrologii* [Verges of hydrology]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. Vol.2. (in Russ.)
 22. Loboda, N.S., Serbova, Z.F. & Bozhok, Ju.V. (2014). [Influence of changes of climate on the water resources of Ukraine in modern and future terms (on the scenario of the global warming of A1B)]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 15, pp. 149-159. (in Ukr.)
 23. Loboda, N.S. & Bozhok, Yu.V. (2015). [Impact of climate change on water resources of the catchment of the Kuyalnit-sky Liman in scenic climatic conditions]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 16, pp. 189-195. (in Ukr.)

ASSESSMENT OF POSSIBLE CHANGES OF WATER RESOURCES OF THE RIVERS BELONGING TO THE KUYALNITSKYI LIMAN CATCHMENT AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY (2021 -2050) ACCORDING TO THE MODELS OF THE CLIMATIC SCENARIO RCP4.5

N. S. Loboda, A. M. Kuza, O. M. Kozlov

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine,
natalie.loboda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>

Relevance of the paper consists in the need of ability to predict the water resources state of small and medium-sized rivers of the North-Western Black Sea Region in the 21st century in order to justify the strategy of Odesa Region's economy development. The water bodies of the studied territory include Kuyalnitskyi Liman with its unique balneological properties used for health improvement purposes since the end of the 19th century. Global warming and construction of numerous artificial reservoirs across the catchments of the liman's rivers resulted in its shallowing since the 90s of the last century. Forecasts for possible inflow of fresh water from the rivers to the liman in the near future have a great importance for assessing the prospects of its natural resources protection and preservation. The aim of the paper is to determine a possible state of water resources of the rivers belonging to the Kuyalnitskyi Liman catchment over the period of 2021-2050 based on imitational mathematical modelling with the climate-runoff model taken as a template and using meteorological data of 14 models of the RCP4.5 climate scenario. Estimations of zonal (climatic) annual runoff were provided for six meteorological stations located across the Kuyalnitskyi Liman catchment and adjacent territories. Each of the studied models has the water resources, heat and moisture resources estimations averaged over the target territory. It is shown

that, compared to the last century's data, water resources changes will range from -82.6 % (model CLMcom3) to + 75.4 % (model MPI-CSC2). An average statistical model which is the result of averaging all the studied models was taken for further calculations. It was established that the best harmonization of estimated and actual tendencies of runoff formation climatic factors changes is observed when the average statistical model is taken. According to this model, over the period of 2021-2050 the Kuyalnitskyi Liman catchment area will see a heat resources expected increase by + 12.3 % with a slight (-1.80 %) humidification resources decrease. This will lead to reduction of territory's water resources by 25.5 %. The transfer of some watercourses feeding the liman to natural annual river runoff made it possible to determine that, according to the RCP4.5 scenario, over the period of 2021-2050 the average long-term inflow of fresh water from the Velykyi Kuyalnik River will constitute 16.5 million m³ and the inflow from other watercourses – 1.3 million m³.

Keywords: Kuyalnitskyi Liman, climate-runoff model, RCP4.5 climate scenario models, changes of water resources

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕК ВОДОСБОРА КУЯЛЬНИЦКОГО ЛИМАНА В НАЧАЛЕ XXI СТОЛЕТИЯ (2021-2050 ГГ.) ПО МОДЕЛЯМ КЛИМАТИЧЕСКОГО СЦЕНАРИЯ RCP4.5

Н. С. Лобода, А. Н. Куза, А. М. Козлов

Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина,
natalie.loboda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>

Актуальность работы обусловлена необходимостью предсказания состояния водных ресурсов малых и средних рек Северо-Западного Причерноморья в XXI веке с целью обоснования стратегии развития хозяйства Одесской области. Среди водных объектов рассматриваемой территории находится Куяльницкий лиман, уникальные бальнеологические свойства которого используются для оздоровления людей еще с конца XIX столетия. В результате глобального потепления и строительства большого количества искусственных водоемов на водосборах рек с 90-х годов прошлого столетия началось обмеление лимана. Прогнозы возможного притока пресных вод от рек до лимана в ближайшем будущем имеют большое значение для оценки перспектив охраны и сохранения природных ресурсов лимана. Целью работы является определение возможного состояния водных ресурсов водосбора Куяльницкого лимана в период 2021-2050 гг. на базе имитационного математического моделирования по модели "климат-сток" с использованием метеорологических данных 14 моделей климатического сценария RCP4.5. Оценки зонального (климатического) годового стока были предоставлены для шести метеорологических станций, расположенных на водосборе Куяльницкого лимана и смежных с ним территориях. Для каждой из рассмотренных моделей были предоставлены усредненные по территории оценки водных ресурсов, ресурсов тепла и влаги. Показано, что изменения водных ресурсов при сравнении с данными прошлого столетия будут находиться в пределах от - 82,6 % (модель CLMcom3) до + 75,4 % (модель MPI-CSC2). Для дальнейших расчетов была рассмотрена среднестатистическая модель, которая представляет собой результат осреднения всех рассмотренных моделей. Установлено, что наилучшее согласование расчетных и фактических тенденций изменения климатических факторов формирования стока наблюдается именно для средней статистической модели. Согласно этой модели на водосборе Куяльницкого лимана в 2021-2050 гг. ожидается рост ресурсов тепла на + 12,3 % при незначительном (- 1,80 %) уменьшение ресурсов увлажнения. В результате уменьшение водных ресурсов территории будет составлять 25,5 %. Переход к естественному годовому стоку отдельных водотоков, питающих лиман, позволил выявить, что в 2021-2050 гг. по сценарию RCP4.5 средний многолетний приток пресной воды реки Большой Куяльник будет составлять 16,5 млн.м³, а приток от других водотоков - 1.3 млн. м³.

Ключевые слова: Куяльницкий лиман, модель климат-сток, модели климатического сценария RCP4.5, изменения водных ресурсов

Подання до редакції: 20. 02. 2019
Надходження остаточної версії: 18. 03. 2019
Публікація статті: 30. 05. 2019

УДК 556.531

ОЦІНКА ЗМІН ЯКОСТІ ВОДИ ПО ДОВЖИНІ РІЧКИ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ

Н. С. Лобода, О. В. Смалій
І. В. Катинська, О. М. Котович

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, natalie.loboda@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>

Актуальність проблематики полягає в необхідності досягнення “доброго статусу” води в річках України згідно із задачами Водної Рамкової Директиви. Метою роботи є виявлення основних тенденцій змін якості води у часі та по довжині річки Сіверський Донець на базі даних гіdroхімічних спостережень, розглянутих до 2015 року включно. Для установлення якості води були використані інтегральні оцінки за гіdroхімічними показниками, серед яких коефіцієнт забруднення, індекс забруднення води, узагальнений індекс стану вод I_{CB} відповідно до рибогосподарських норм якості вод. Показано, що використання обов’язкових (пріоритетних) хімічних показників у розрахунках коефіцієнту забруднення та індексу забруднення води не відображає дійсного ступеня забруднення води, оскільки не враховує значної кількості забруднювальних речовин. Виявлено, що основними забруднювальними речовинами у головній річці є завислі речовини, хром, азот нітритний, феноли, сульфати. Для правобережних приток Сіверського Дінця (показано на прикладі річки Кривий Торець), які беруть початок з Донецької височини, є характерним забруднення важкими металами (хром, мідь, цинк). Для середнього багаторічного періоду ступень забруднення за коефіцієнтом забруднення оцінений як катастрофічний, за індексом забруднення води установлений IV (забруднені) та V (брудні) класи якості, що свідчить про порушення стійкості екосистеми. За узагальненим індексом I_{CB} води також класифікуються як “брудні”. На базі розрахунків за різними інтегральними показниками якості води виявлено, що забруднення річки Сіверський Донець зростає за течією. Це обумовлено зростаючим антропогенним навантаженням (комунальні та промислові води великих міст, скид у поверхневі водотоки шахтних та кар’єрних вод, вилучення стоку для його перекиду по каналах та водоводах, наявність дифузних джерел забруднення біогенними елементами та органічними речовинами). На початку ХХІ сторіччя у хронологічному ході інтегральних показників якості вод установлена тенденція до покращення, що обумовлено зменшенням обсягів виробництв. Згідно із узагальненим індексом стану вод I_{CB} якість води у головній річці поступово змінюється з “брудні” та “дуже брудні” до “помірно брудні”, але забруднення важкими металами, біогенними елементами та органічними речовинами залишається високим.

Ключові слова: річка Сіверський Донець; забруднювальні речовини; оцінка якості вод за комплексними індексами; динаміка ступеня забруднення вод.

1. ВСТУП

Басейн річки Сіверський Донець розташований у межах Харківської, Донецької та Луганської адміністративних областей й являє собою урбанізований регіон з високим рівнем розвитку промисловості та сільського господарства, що впливає на якість води в річці. Актуальність проблематики полягає в необхідності досягнення “доброго статусу” води в річках України згідно із задачами Водної Рамкової Директиви [1]. Однак, дані про сучасний екологічний та хімічний статус вод Сіверського Дінця указують, що він

відрізняється від бажаного [2]. За рівнем водогосподарського використання річка Сіверський Донець поступається лише Дніпру. Наслідки антропогенного навантаження на якість вод річки проявляються ще на території Росії, де знаходяться витoki річок Сіверський Донець та Оскіл. У річку потрапляють води, які викачуються при видобутку залізної руди [3]. На гіdroлогічний режим річки нижче створу р. Сіверський Донець – с. Огірцеве (перший гіdroлогічний пост на території України) впливає зарегулювання стоку, яке здійснюється Печенізьким водосховищем

(повний об'єм 383,0 млн.м³) [4]. Гідрохімічний режим притоку Уди, який впадає у Сіверський Донець між створами Чугуїв та Зміїв, визначається скидами стічних вод м. Харків. За даними гідрохімічного моніторингу ДСНС України річка Уди разом із Полтвою вважаються найзабрудненішими водними об'єктами України [5]. Вище створу Сіверський Донець – м. Ізюм у р. Сіверський Донець впадає річка Червоний Оскіл, на якій розташоване Червонооскільське водосховище (повний об'єм 473,8 млн.м³). Це водосховище призначене для поповнення стоку р. Сіверський Донець у межень. Вище створу Лисичанськ на об'єми стоку впливає забір води у канал Сіверський Донець-Донбас. Промисловість Донецького кам'яновугільного басейну відіграє значну роль у формуванні якісного стану вод приток, які беруть початок з Донецької височини. Правобережні притоки Сіверського Дінця – річки Казенний Торець та Бахмут, які впадають до головної річки між створами Ізюм та Лисичанськ, забезпечують надходження до річки забруднювальних речовин, які містяться у промислових (зокрема, шахтних) та комунальних водах. В межах Харківської області на основі визначення екологічного стану та ступеня забрудненості [6] вод за багаторічними даними (1992-2010 рр.) про гідрохімічний склад води, показано [7], що екологічний стан річкової води у верхній частині течії (с. Огірцеве) оцінюється як «добрий» та «досить чистий» при визначенні ступеня чистоти. Нижче впадіння притоки р. Уди, на якій розташоване місто Харків, екологічний стан річкової води оцінюється як «задовільний» та «слабо забруднений» при визначенні ступеня чистоти. У Донецькій області якість річкової води на межі з Харківською областю оцінюється як «задовільна» під час визначення екологічного стану та «слабо забруднена» під час визначення ступеня чистоти. На ділянці річки Сіверський Донець нижче впадіння річки Казенний Торець спостерігається значне погіршення якості води, оцінка якості річкових вод змінюється зі «слабо забруднена» на «помірно забруднена». Річки суббасейну Казенного Торця характеризуються значною мінералізацією. Сольові показники тут є значно вищими, ніж на інших, вище розташованих притоках, і вони зумовлюють погіршення якості річкової води у нижній течії Сіверського Дінця. Найбільш забрудненою річкою суббасейну річки Казенний Торець визнана річка Кривий Торець. У роботі [8] було показано, що у 3-х створах (р. Бахмут – м. Артемівськ, р. Казенний Торець – м. Словянськ, р. Кривий Торець – м. Дружківка)

у найближчі роки очікується перевищення критерію забруднення нітратними сполуками.

Дослідження якості поверхневих вод річки Сіверський Донець за період 1986-1991 роки свідчить про наступне [9]: за показниками сольового складу якість води знаходиться в межах 2-4-ї категорій II-III класу за середніми значеннями, що відповідає назві класу задовільні (забруднені); за трофністю – якість води знаходиться в межах 4-6-ї категорій III-IV класу, що відповідає назві класу погані (брудні); за вмістом специфічних показників токсичної та радіаційної дії якість води знаходиться в межах 4-5-ї категорій III класу, що відповідає назві класу задовільні (забруднені); інтегральний екологічний індекс якості води знаходиться в межах 3-4-ї категорій II-III класу, що відповідає назві класу задовільні (забруднені). Проведена екологічна оцінка за період 2003-2004 роки показала: за показниками сольового складу якість води знаходиться в межах 2-5-ї категорій II-III класу за середніми значеннями, що відповідає назві класу задовільні (забруднені); за трофністю води якість води знаходиться в межах 4-5-ї категорій III класу, що відповідає назві класу задовільні (забруднені); за вмістом специфічних показників токсичної та радіаційної дії якість води знаходиться в межах 2-3-ї категорій III класу, що відповідає назві класу задовільні (забруднені); інтегральний екологічний індекс якості води знаходиться в межах 3-4-ї категорій II-III класу, що відповідає назві класу задовільні (забруднені). Таким чином, можна зробити висновок, що якість води р. Сіверський Донець, визначена за хімічними показниками, постійно змінюється через динаміку водності, об'ємів забору та скиду води, ефективності роботи очисних споруд та інше.

Метою роботи є виявлення основних тенденцій змін якості води у часі та по довжині річки Сіверський Донець на базі даних гідрохімічних спостережень до 2015 року.

Об'єктом досліджень є річка Сіверський Донець, предметом – якісний стан вод річки, оцінений за гідрохімічними показниками.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі використані дані гідрохімічних спостережень у створах, розміщених по довжині річки Сіверський Донець, від початку спостережень до 2015 року включно. Для установаження якості води були використані інтегральні оцінки за гідрохімічними показниками, серед яких коефіцієнт забруднення (χ), індекс забруднення води (ІЗВ), узагальнений індекс стану вод I_{CB} [10]

відповідно до рибогосподарських норм якості вод, оскільки останні ураховують як основні, так і більш слабкі ланки водних екологічних систем.

Коефіцієнт забруднення χ розраховується за формулою [11]

$$\chi = \sum [(N_i / C_{i,d}) \cdot \varphi(i)] / \sum \varphi(i), \quad (1)$$

де N_i – значення показника забруднення; i – номер показника забруднення в ранговій послідовності з m показників; $C_{i,d}$ – норматив (ГДК) показника; $\varphi(i) = i / 2^{i-1}$ – вагова функція; $\sum \varphi(i)$ – приведена кількість показників.

Як основні приймаються такі показники забруднення з відповідною ранговою послідовністю (i): БСК₅ ($i=1$); NH_4^+ ($i=2$); нафтопродукти ($i=3$); O_2 ($i=4$). Ранги інших показників установлюють за співвідношенням $N_i / C_{i,d}$. В залежності від значення коефіцієнта χ складено атестаційну шкалу по оцінці ступеня забруднення водного середовища (таблиця 1). Недоліком методики є значна залежність оцінки якості води від способу ранжування показників.

Таблиця 1 – Інтегральна оцінка ступеня забруднення водного середовища за коефіцієнтом забруднення χ

Коефіцієнт забруднення	Якісна оцінка ступеня забруднення
До 1,00	Нешкідлива (чиста)
1-1,99	Мала
2-2,99	Припустима
3-3,99	Істотна
4-5,00	Інтенсивна
Більше 5,00	Катастрофічна

Індекс забруднення води (ІЗВ) дозволяє оцінити якість води за шістьма показниками. Існує два підходи до розрахунків: стандартний та модифікований. У стандартному (ІЗВ) використовується шість обов'язкових показників: БСК₅, розчинений кисень, феноли, нафтопродукти, аміак, нітрати. При відсутності одного із перерахованих компонентів або за наявності великої кількості забруднювальних речовин розрахунок виконують для модифікованого ІЗВ. В його складі залишаються два обов'язкових компонента (БСК₅ та розчинений кисень), а чотири останніх відбираються по максимальному відношенню їх концентрації до ГДК [12].

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum \frac{C_i}{ГДК}, \quad (2)$$

де C_i – концентрація відповідного показника; $ГДК$ – гранично допустима концентрація показника.

При розрахунках за формулою (2) для розчиненого кисню в чисельнику записується гранично допустима концентрація, а в знаменнику фактична концентрація цієї речовини. За величинами установлених ІЗВ виділяють сім класів якості води (таблиця 2). До І класу відносять води, на які найменше впливає антропогенне навантаження, їх гідроекологічні показники близькі до природних значень для даного регіону; до II класу – води з певними змінами щодо природного стану, однак зміни поки що не порушили екологічної рівноваги; до III класу – води зі значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем; води вищих класів – це води з порушеними екологічними параметрами, їх екологічний стан оцінюється як «екологічний регрес».

Таблиця 2 – Класи якості води за показником ІЗВ

Значення ІЗВ	Класи якості води	Рівень забруднення води
$\leq 0,2$	I	«дуже чиста»
0,21-1,09	II	«чиста»
1,1-2,09	III	«помірно забруднена»
2,1-4,09	IV	«забруднена»
4,1-6,09	V	«брудна»
6,1-9,99	VI	«дуже брудна»
$> 10,0$	VII	«надзвичайно брудна»

Методика визначення узагальненого індексу стану вод I_{CB} , розроблена в ОДЕКУ. Вона спрямована на те, щоб усунути головні недоліки вже існуючих методик [13], серед яких головне місце займає методика оцінки якості поверхневих вод за узагальненим екологічним індексом. При визначенні індексу стану вод I_{CB} для визначення ефекту сумарної дії речовин розглядається вісім блоків показників. Запропоновано використовувати такі блоки: 1) мінералізація; 2) трофо-сапробіологічний; 3) із загальносанітарною ЛОШ; 4) із токсикологічною ЛОШ; 5) із санітарно-токсикологічною ЛОШ; 6) із органолептичною ЛОШ; 7) із рибогосподарською ЛОШ; 8) радіаційної дії. Для третього – сьомого блоків – розрахунок блокового індексу виконується за формулою виду:

$$I_J = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (3)$$

де C_i – концентрація окремої речовини у воді (табл. 3); n – кількість показників;

$ГДК_i$ – гранично допустима концентрація окремої речовини.

Блоки радіаційної дії (восьмий) та трофосапробіологічний (другий) у даній роботі не розглядалися через відсутність необхідних вихідних даних.

Узагальнена оцінка розраховується шляхом осереднення розглянутих блокових індексів

$$I_{CB} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m I_J, \quad (4)$$

де I_J – узагальнений блоковий індекс; m – загальна кількість блокових індексів.

Такий підхід дозволяє уникнути ефекту надмірного згладжування, яке є характерним для методики розрахунків за узагальненим екологічним індексом [6]. В залежності від величини узагальненого індексу стану води I_{CB} в ОДЕКУ була розроблена таблиця класифікації якості поверхневих вод за I_{CB} (від дуже чистої до дуже брудної) для рибогосподарського водокористування (табл. 3).

Таблиця 3 – Класифікація якості поверхневих вод за I_{CB}

Стан якості води	Показник хімічного забруднення (I_{CB})
Дуже чиста	<0,25
Чиста	0,26-0,50
Досить чиста	0,51-1,0
Слабо забруднена	1,01-2,0
Помірно забруднена	2,01-4,0
Брудна	4,01-8,0
Дуже Брудна	>8,00

3. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Оскільки усі розглянуті комплексні індекси якості води базуються на співвідношенні концентрації хімічної речовини та її гранично допустимої норми (ГДК), то на першому етапі досліджень були виявлені речовини із багаторазовим перевищенням рибогосподарських нормативів.

Важливою рисою формування якості води у Сіверському Дінці є підземні води, які проходять через соленосні та кам'яновугільні породи, де збагачуються мінеральними солями. Також має значення скидання у водотоки шахтних і кар'єрних вод річок Донбасу з високою мінералізацією (вище 1 г/дм³). Інтенсивне зростання мінералізації води починається із створу Ізюм.

Наприклад, якщо у 2000 році мінералізація води у створі Огірцеве (верхня течія річки) становила 658 мг/дм³, то у створі Лисичанськ вона досягла значень 1116 мг/дм³ (вище міста) та 1175 мг/дм³ (нижче міста), (рис. 1). Виявлено, що основними забруднювальними речовинами вод річки Сіверський Донець є хром (7-кратне перевищення рибогосподарської ГДК, у створі р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ), (рис. 2); азот нітритний (7-кратне перевищення рибогосподарської ГДК у створі р. Сіверський Донець – м. Чугуїв (нижче міста), (рис. 3); сульфати (3-кратне перевищення рибогосподарської ГДК, у створі р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ), (рис. 4); феноли (3-кратне перевищення рибогосподарської ГДК, у створі р. Сіверський Донець – м. Огірцеве), (рис. 5). Аналіз динаміки перевищень ГДК концентраціями забруднювальних речовин показав, що для більшості розглянутих речовин забруднення вод зростає у створі Лисичанськ.

На хімічний склад води впливає надходження забруднювальних речовин з таких промислових центрів як Харків, Чугуїв, Зміїв, Балаклея, Ізюм. В результаті навколо великих міст збільшується вміст азоту амонійного, азоту нітритного, фенолів. Особливо добре виділяється зростання вмісту фенолів при порівнянні їх концентрацій “вище міста” та “нижче міста” (див. рис. 5). Біохімічне споживання кисню (БСК₅) в непрямий спосіб показує ступінь забрудненості водного об'єкта органічними речовинами, які легко окислюються. Згідно з цим показником найбільше забруднення органічними речовинами, характерно для створів Чугуїв та Лисичанськ (рис. 6). Значне зростання концентрації хрому у нижній течії річки пов'язане із його надходженням із шахтними водами та водами промислових підприємств Донбасу. Для прикладу нами були розглянуті показники гідрохімічного складу води у створі річки Кривий Торець – смт. Олексієво-Дружківка (площа водозбору 1530 км², права притока річки Казенний Торець). Гідрохімічний склад річки характеризується високим вмістом важких металів, а саме такими перевищенням рибогосподарських ГДК: для міді до 40 разів у 1992 році (рис. 7), для хрому до 19 разів у 2013 році (рис. 8), для цинку – більше 25 разів у 1995 році. Стійким є забруднення від року до року азотом нітритним, сульфатами та іншими речовинами.

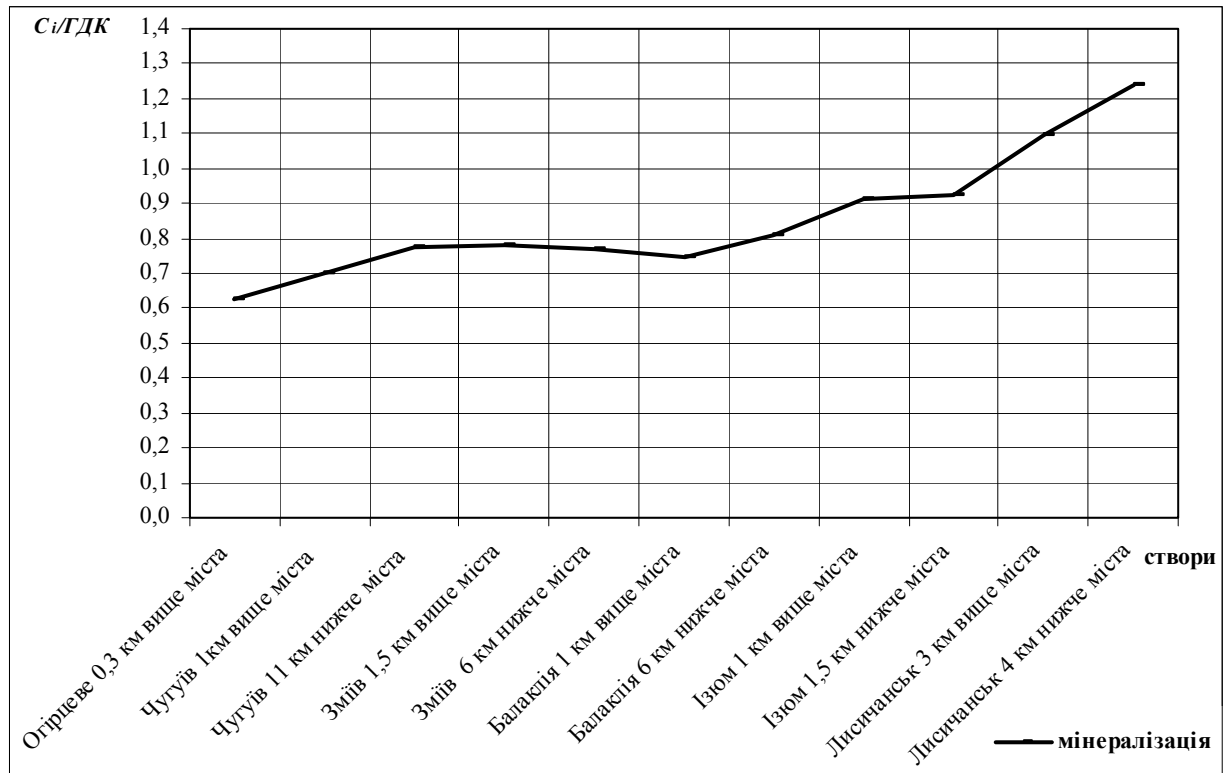


Рис. 1 – Зміни по довжині річки Сіверський Донець осереднених за багаторічний період перевищень ГДК рибогосподарського використання (мінералізація).

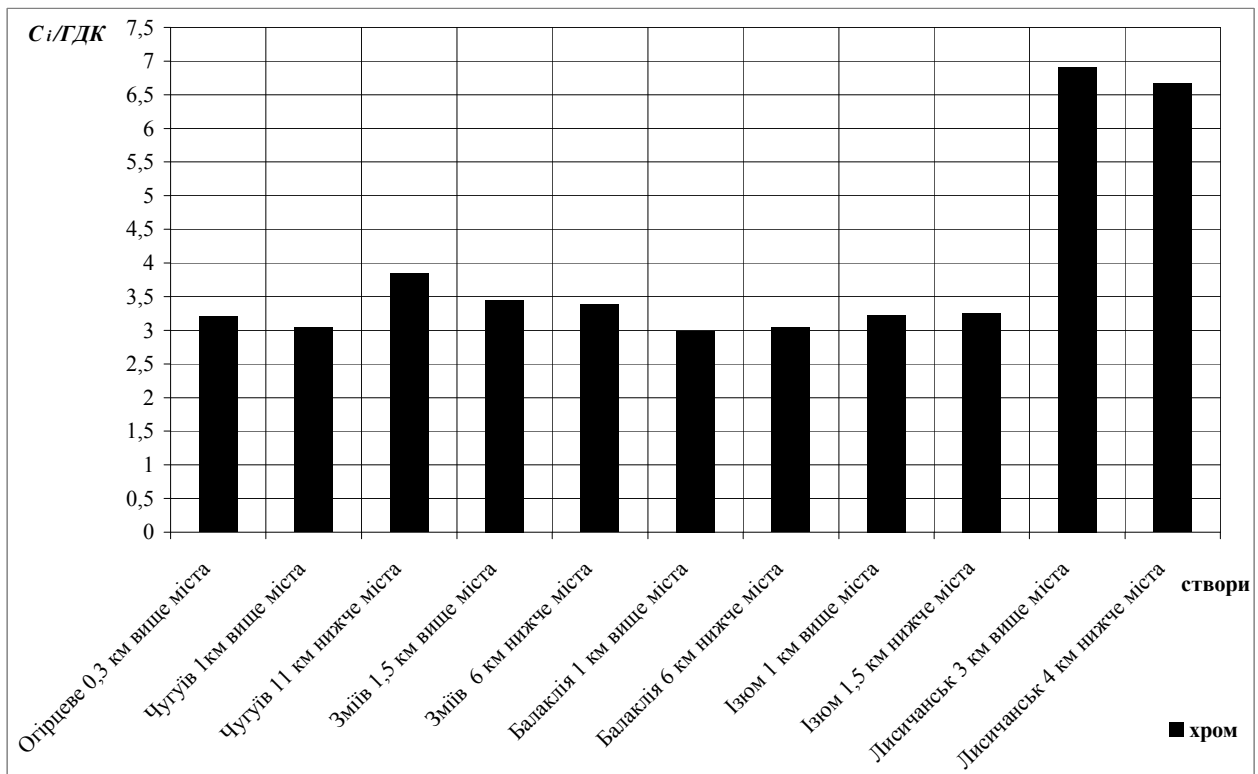


Рис. 2 – Зміни осереднених за багаторічний період перевищень ГДК рибогосподарського використання по довжині річки Сіверський Донець (хром).

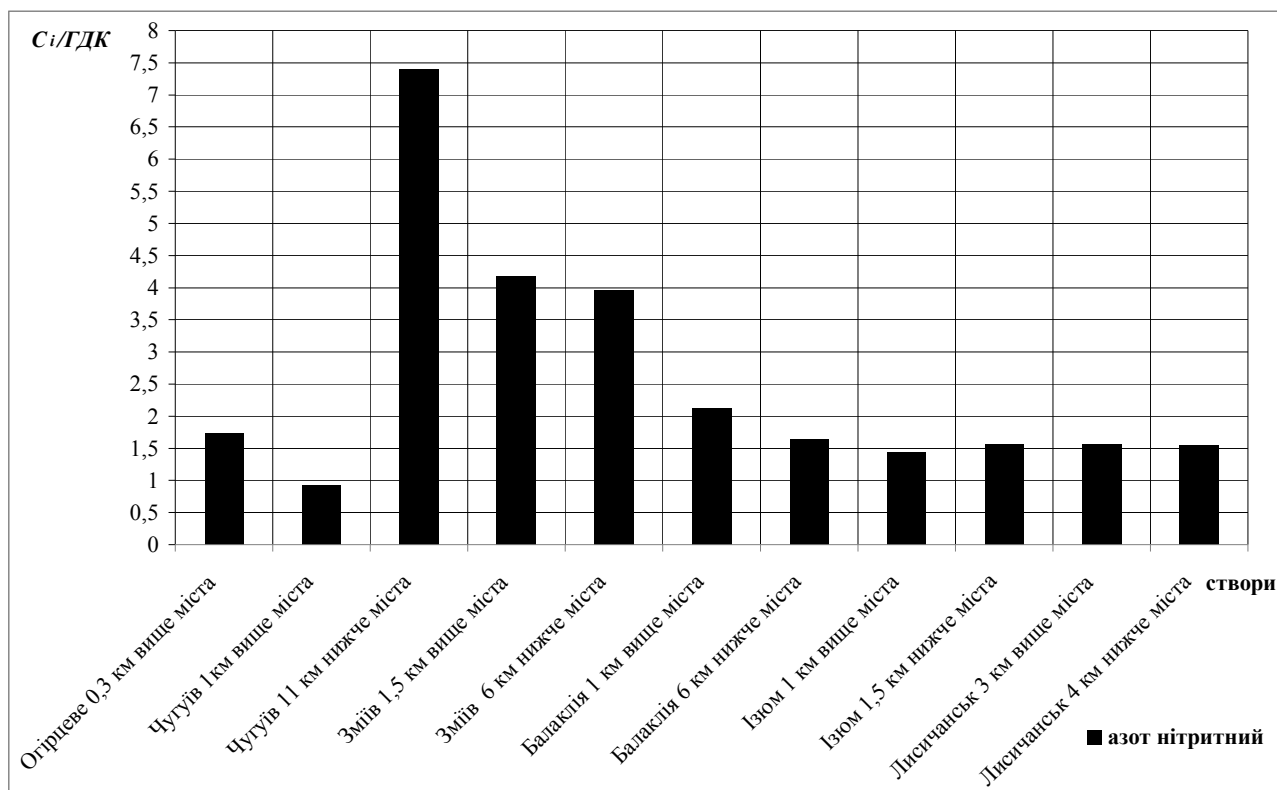


Рис. 3 – Зміни осереднених за багаторічний період перевищень ГДК рибогосподарського використання по довжині річки Сіверський (азот нітритний).

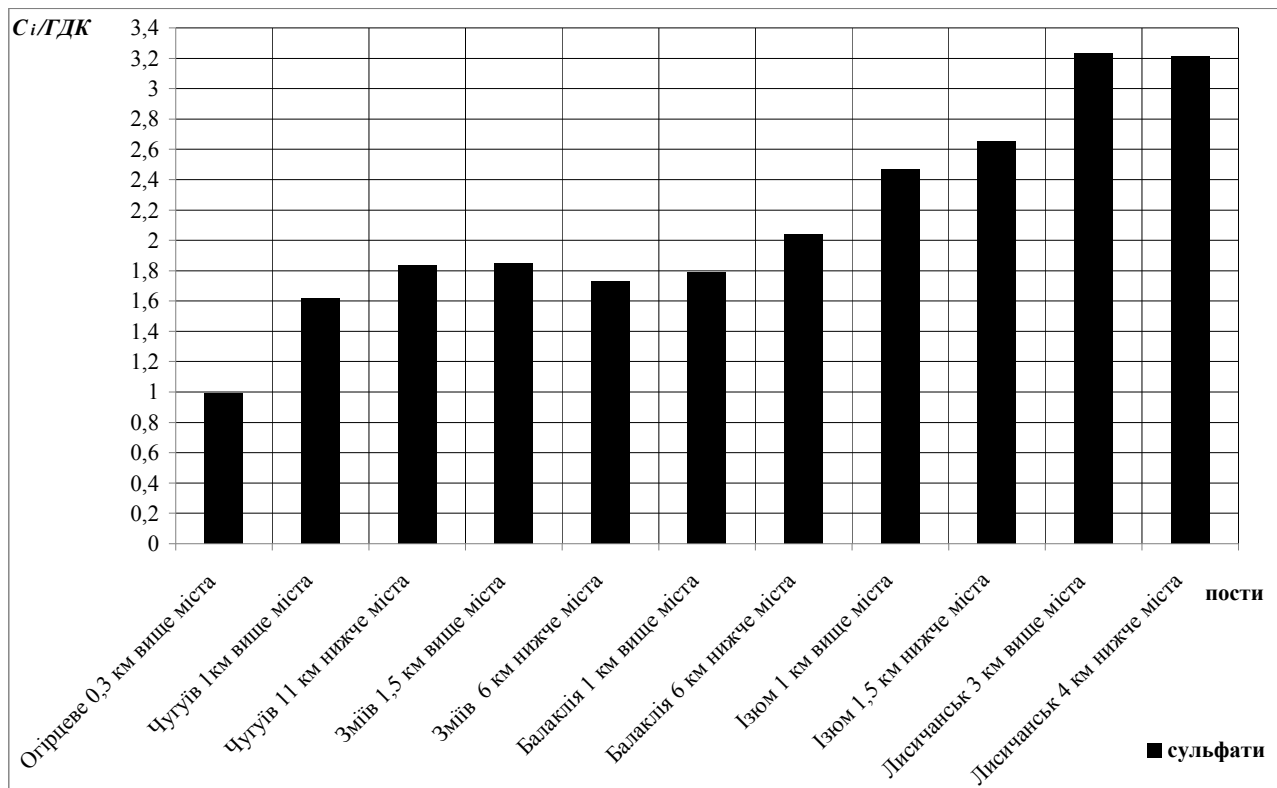


Рис. 4 – Зміни осереднених за багаторічний період перевищень ГДК рибогосподарського використання по довжині річки Сіверський Донець (сульфати).

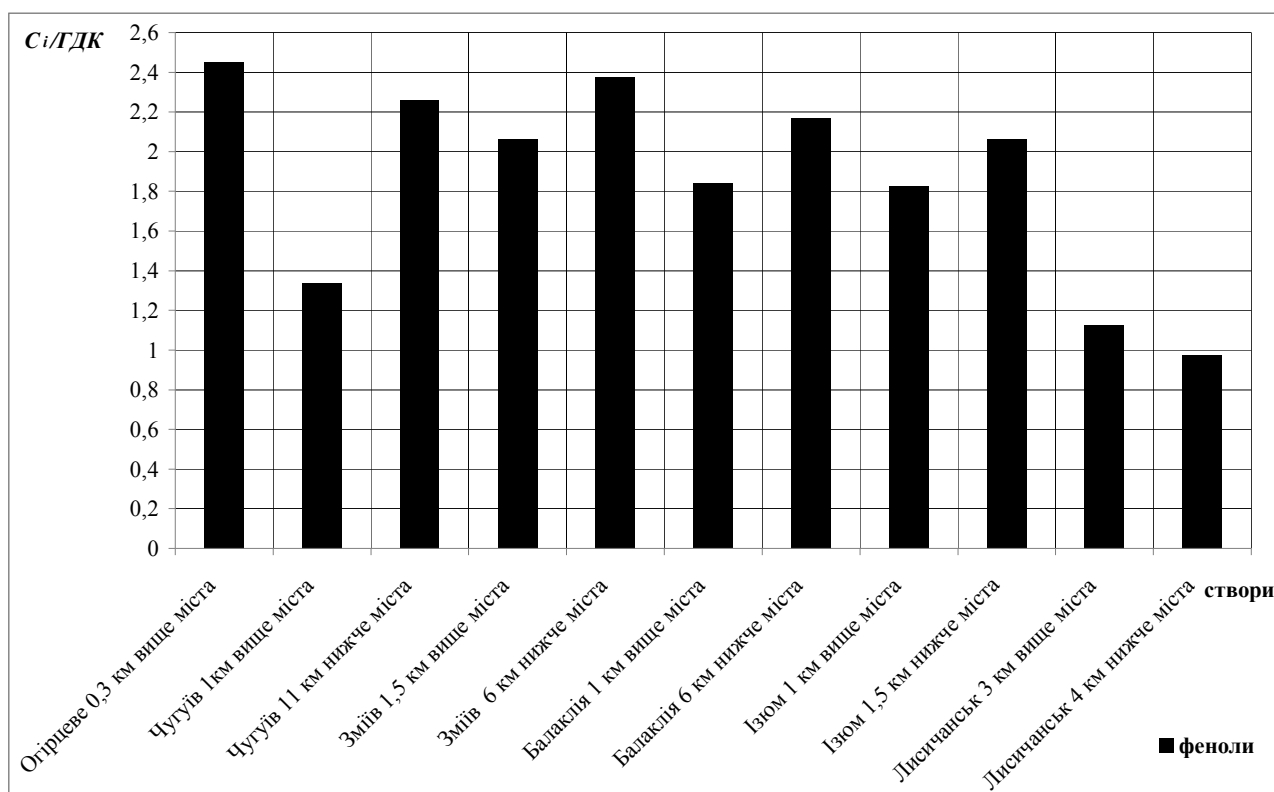


Рис. 5 – Зміни осереднених за багаторічний період перевищень ГДК рибогосподарського використання по довжині річки Сівєрський Донець (феноли).

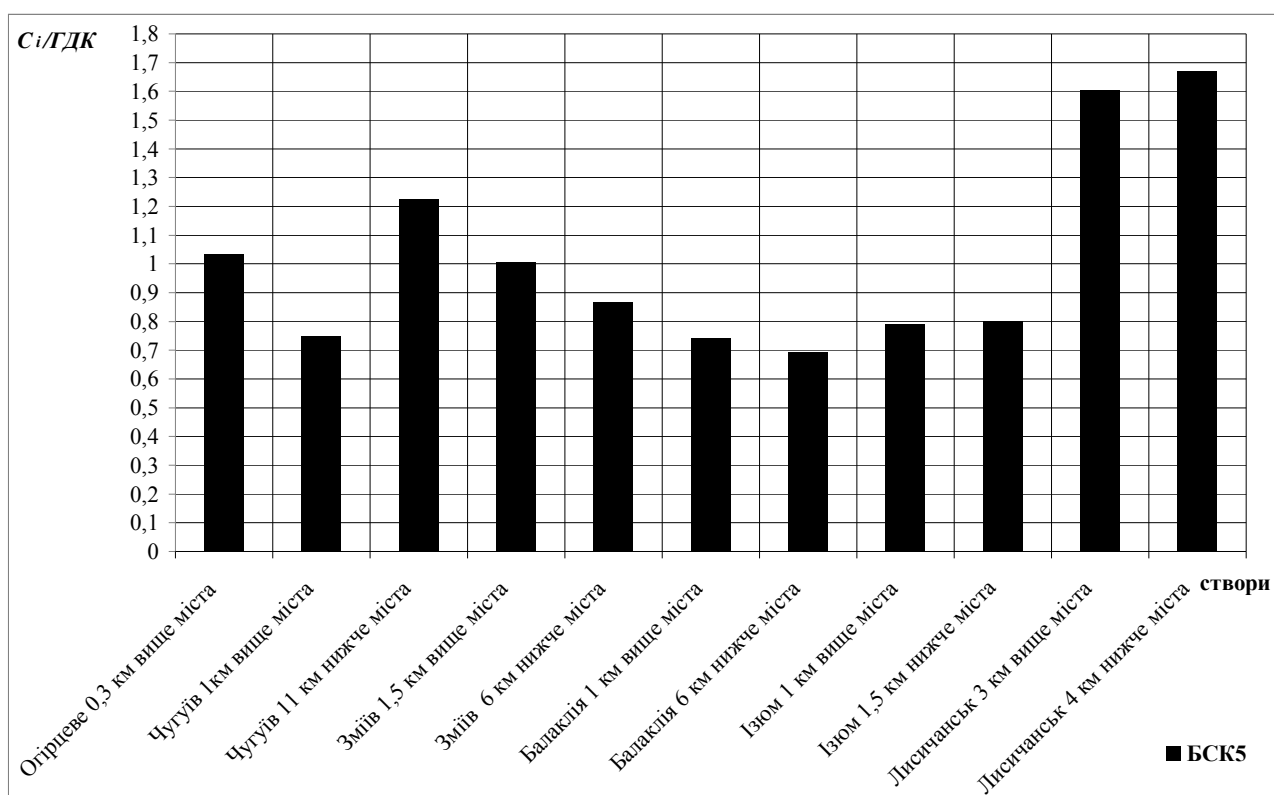


Рис. 6 – Зміни осереднених за багаторічний період перевищень ГДК рибогосподарського використання по довжині річки Сівєрський Донець (BSK₅).

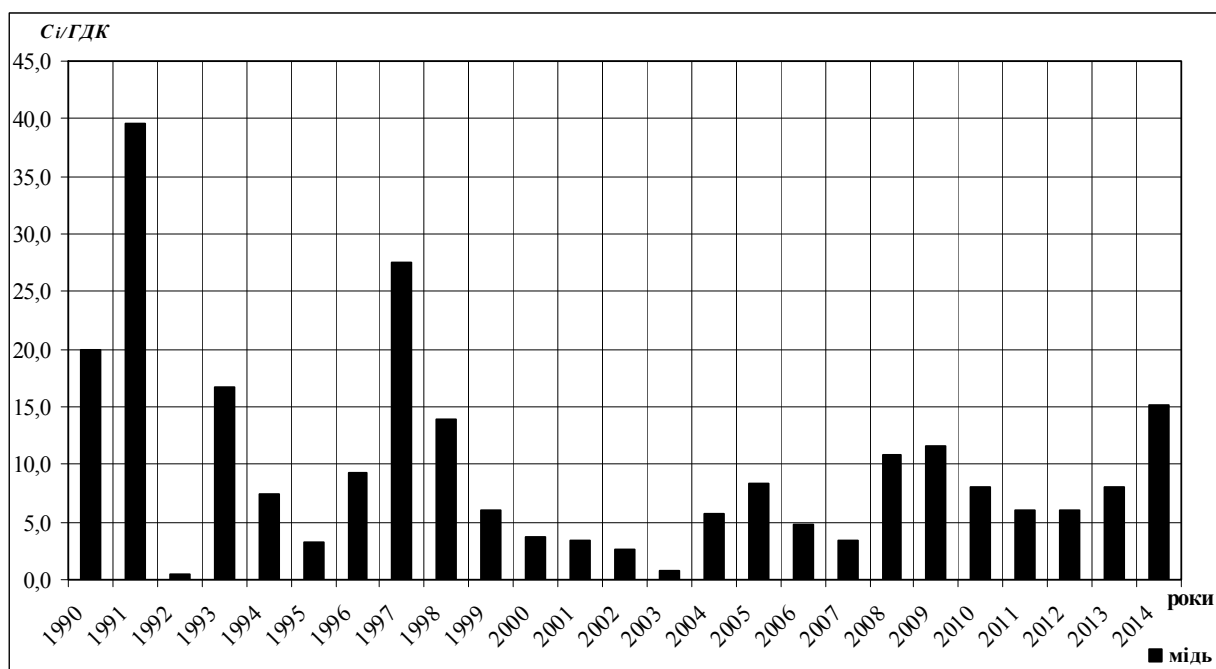


Рис. 7 – Динаміка перевищення ГДК рибогосподарського використання середніми річними концентраціями міді у створі р. Кривий Торець – смт. Олексієво-Дружківка.

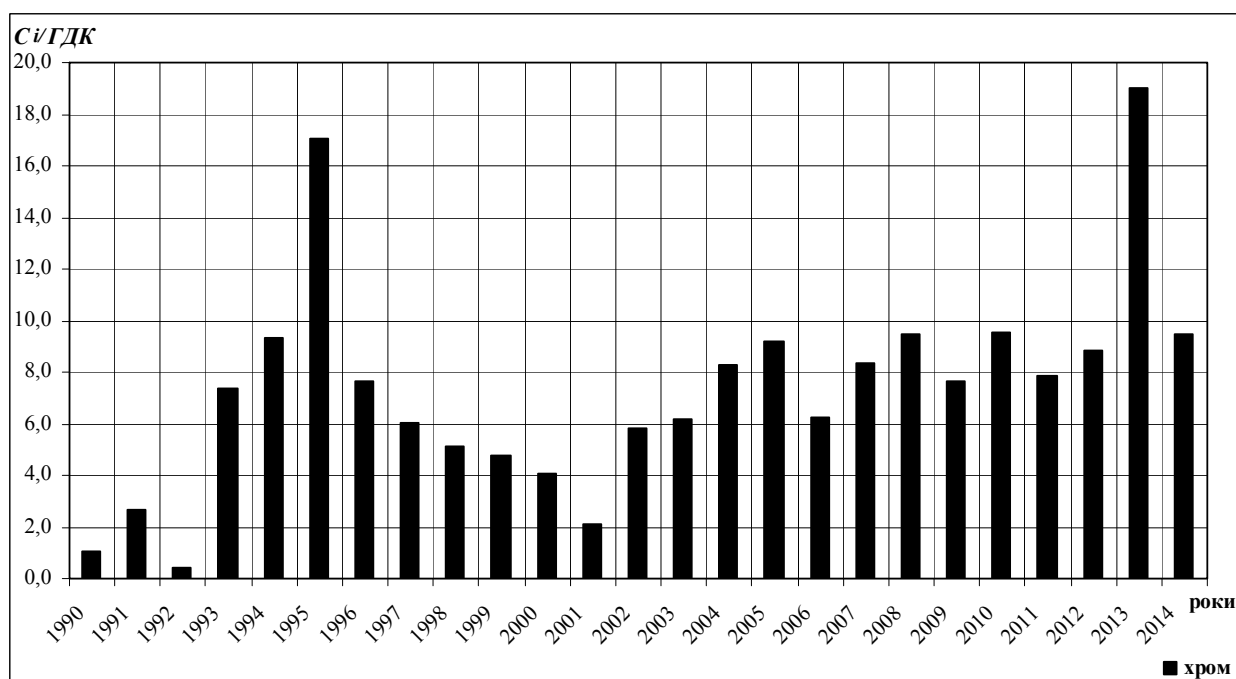


Рис. 8 – Динаміка перевищення ГДК рибогосподарського використання середніми річними концентраціями хрому у створі р. Кривий Торець – смт. Олексієво-Дружківка.

На другому етапі досліджень оцінки якості води виконувалися за коефіцієнтом забруднення χ . Останній розраховувався як із використанням обов'язкових пріоритетів (рис. 9), так і без них (рис. 10). У другому випадку групу п'яти перших вагомих показників у воді річки Сіверський Донець склали: завислі речовини; хром,

азот нітритний, сульфати, феноли. У першому випадку забруднення річки визнане “припустимим”, у другому – “катастрофічним”, що свідчить про несталість рішень відносно оцінювання хімічного складу води під час обов'язкового набору пріоритетів.

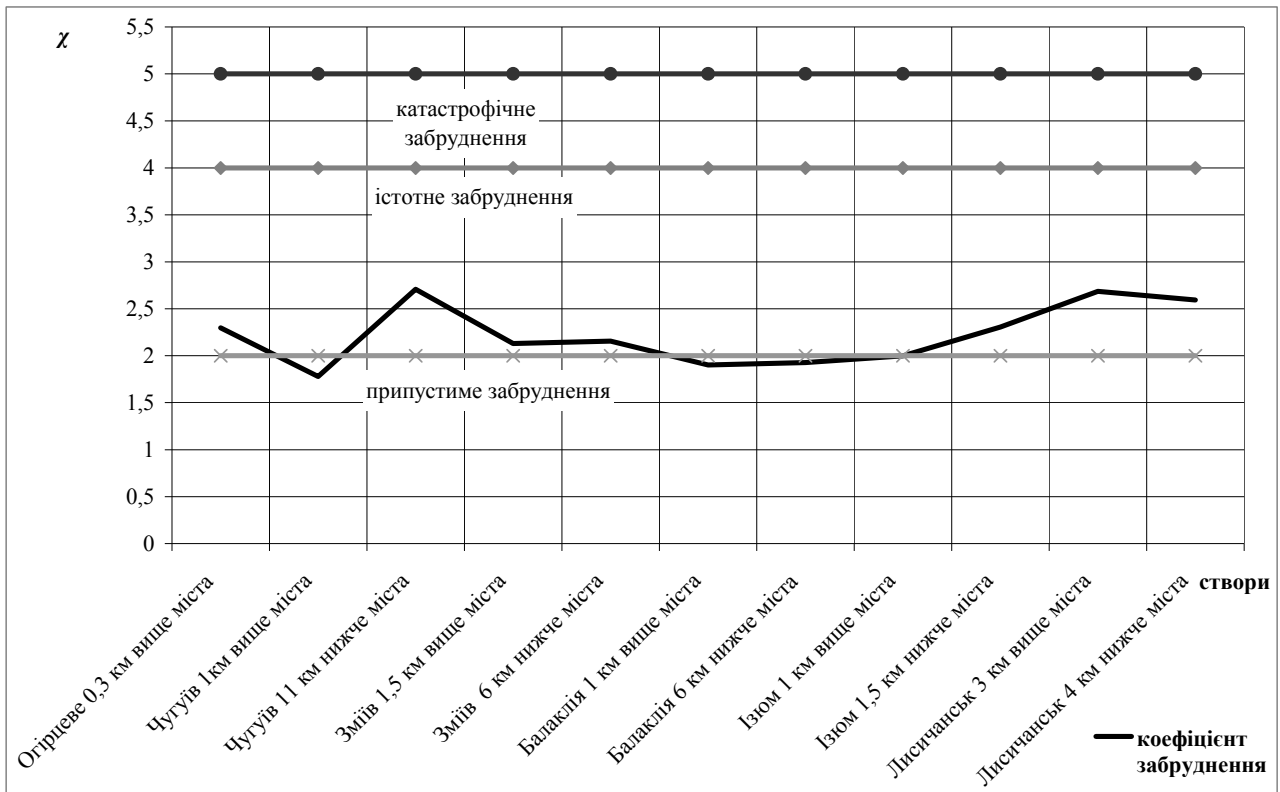


Рис. 9 – Зміни коефіцієнта забруднення χ по довжині річки Сіверський Донець, розрахований з використанням обов'язкових пріоритетів (осереднені значення).

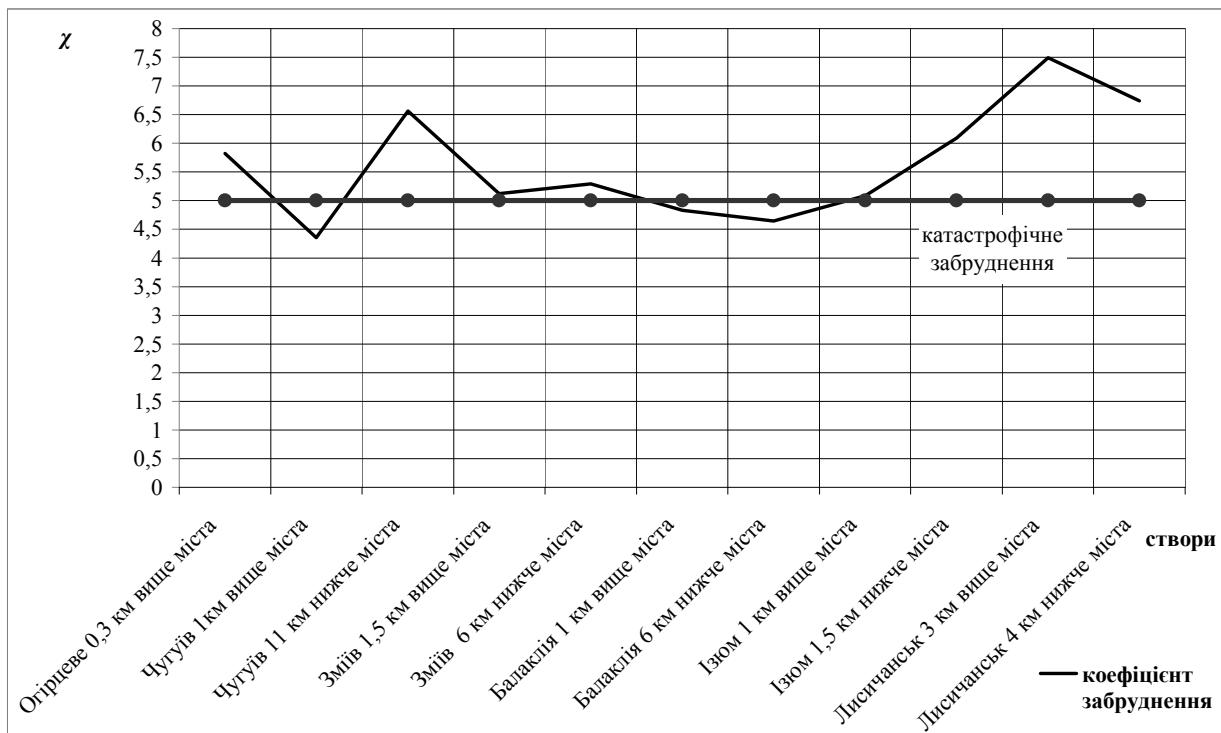


Рис. 10 – Зміни коефіцієнта забруднення χ по довжині річки Сіверський Донець, розрахований без використання обов'язкових пріоритетів (середні багаторічні значення).

На третьому етапі досліджень для оцінки ступеня забруднення води р. Сіверський Донець був використаний модифікований індекс ІЗВ, який розраховувався за шістьма показниками: БСК₅, розчинений кисень, сульфати, феноли, хром, завислі речовини. Оцінка якості води за модифікованим індексом ІЗВ змінюється за течією річки Сіверського Дінця від IV рівня «вода забруднена» до V рівня «вода брудна» (рис. 11).

На прикладі річки Кривий Торець показано, як суттєво розрізняються значення модифікованого та стандартного ІЗВ (рис. 12). Шість показників хімічного складу води, які були залучені до розрахунків модифікованого ІЗВ річки Кривий Торець, включають до себе БСК₅, розчинений кисень, хром, мідь, азот амонійний. Розрахунки стандартного значення ІЗВ дозволяють зробити висновок, що води річки «переважно забруднені» (клас IV) та «брудні» (клас V). За модифікованим ІЗВ отримано, що води «надзвичайно забруднені» (клас VII) та «дуже брудні» (клас VI). Як і при розрахунках коефіцієнту χ обмеженість розрахунків показників якості води обов'язковими пріоритетними речовинами впливає на надійність оцінки екологічного стану води в річках.

У роботі авторів Лободи Н. С. та Смайлій О. В. [14] були наведені результати оцінки якості вод річки Сіверський Донець у різні за водністю роки на базі розрахунків узагальненого індексу стану вод I_{CB} за методикою, розробленою в ОДЕКУ. Цей індекс розраховувався за період 1986 - 2015 рр. для трьох створів, послідовно розташованих у верхній, середній та нижній течії р. Сіверський Донець (табл. 4). Установлено, що відносна частота появи «дуже брудних» та «брудних» вод зростає з 56 % у верхній течії (с. Огірцеве) до 67 % у середній течії річки (м. Ізюм) та до 87 % у нижній течії (м. Лисичанськ). Виявлено покращення хімічного статусу річки у часі. На початку XXI сторіччя «дуже брудна» вода не була виявлена у жодному з розглянутих створів. У верхньому створі (р. Сіверський Донець – м. Огірцеве) у XXI сторіччі (починаючи з 2000 р.), відносна частота появи «помірно забруднених» вод становить 81 %, у середньому створі (р. Сіверський Донець – м. Ізюм) – 63 %, у нижньому створі (р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ) – 25 %. У всіх трьох розглянутих створах установлена тенденція до відносного покращення якості вод (рис. 13) з «дуже брудної» та «брудної» до «помірно забрудненої».

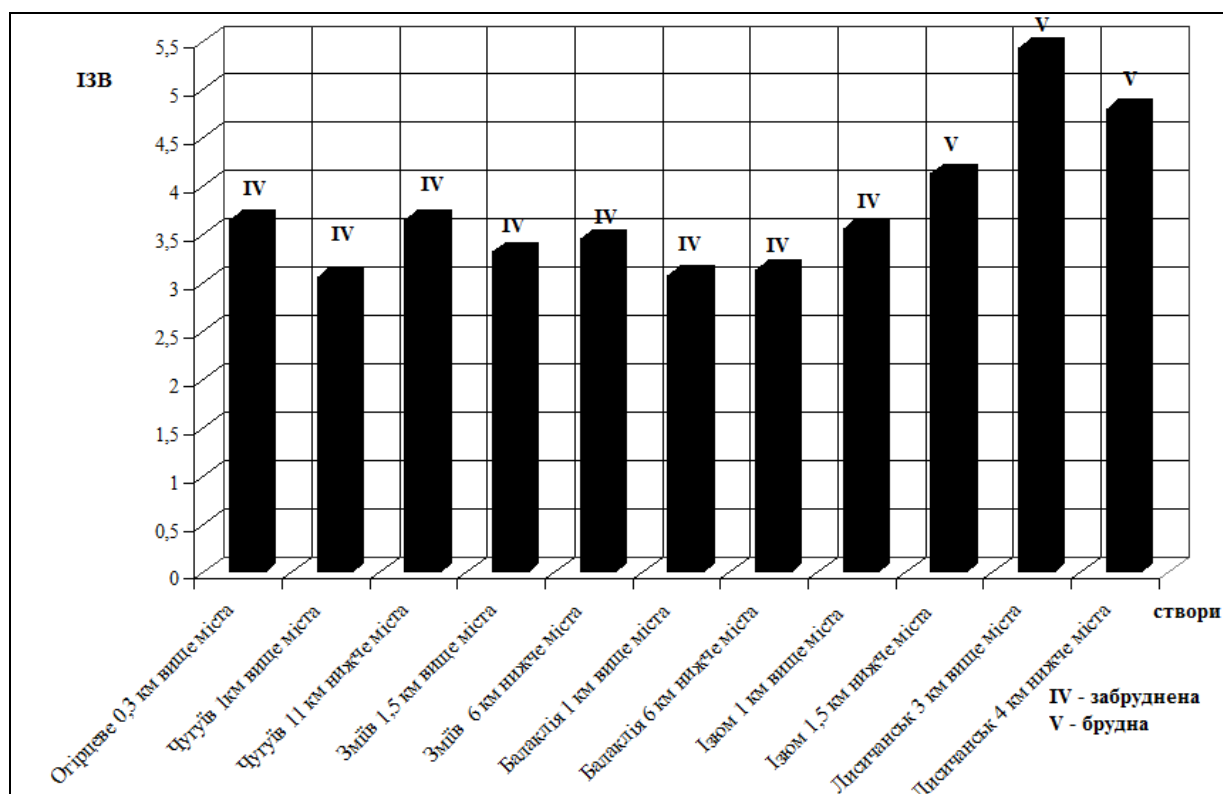


Рис. 11 – Зміни середньобагаторічних значень модифікованого ІЗВ по довжині річки Сіверський Донець.

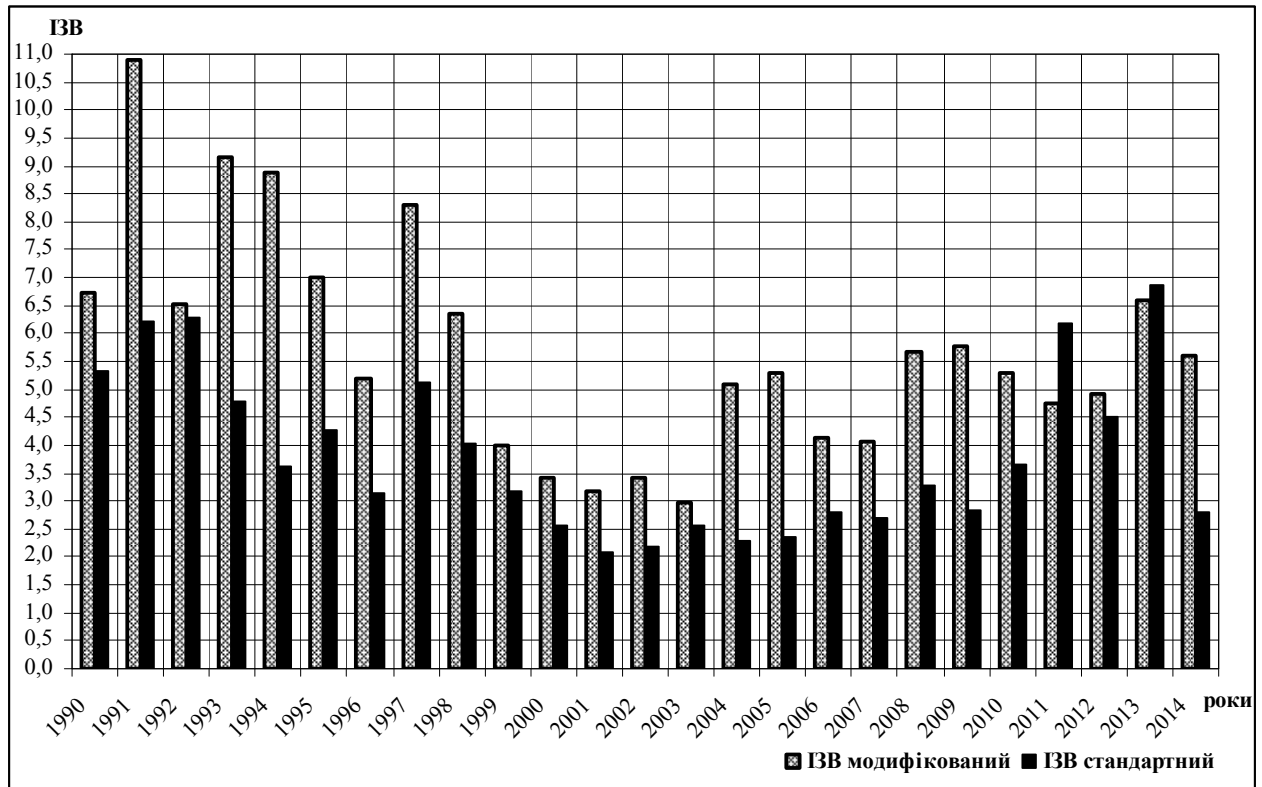


Рис. 12 – Зміни у часі значень стандартного та модифікованого ІЗВ у створі р. Кривий Торець – смт. Олексієво - Дружківка.

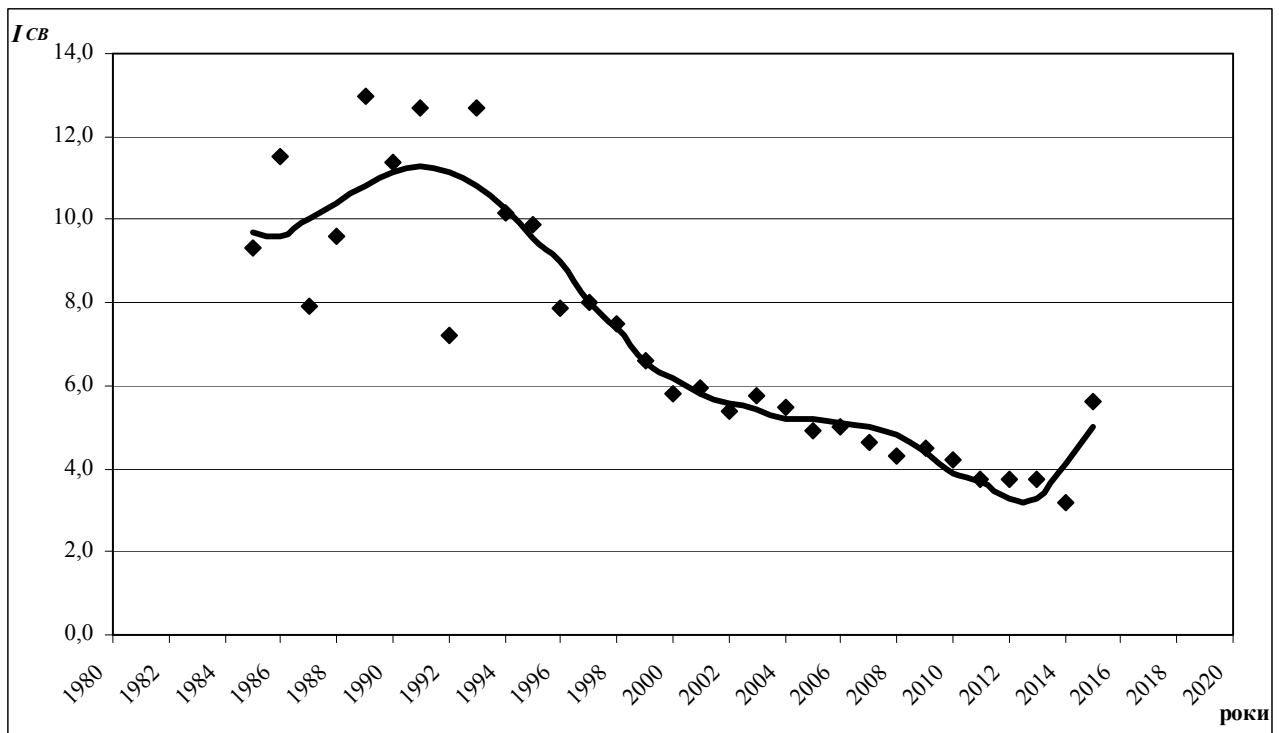


Рис. 13 – Хронологічний хід узагальненого індексу стану вод у створі р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ.

Таблиця 4 – Якість води річки Сіверський Донець по довжині, установлена згідно із розрахунками узагальненого індексу стану води I_{CB}

Роки	Якість води		
	м. Огірцеве	м. Ізюм	м. Лисичанськ
1	2	3	4
1985	Брудна	Брудна	Дуже Брудна
1986	Дуже Брудна	Брудна	Дуже Брудна
1987	Брудна	Дуже Брудна	Брудна
1988	Брудна	Дуже Брудна	Дуже Брудна
1989	Брудна	Брудна	Дуже Брудна
1990	Брудна	Брудна	Дуже Брудна
1991	Брудна	Брудна	Дуже Брудна
1992	Брудна	Брудна	Брудна
1993	Дуже Брудна	Брудна	Дуже Брудна
1994	Дуже Брудна	Дуже Брудна	Дуже Брудна
1995	Дуже Брудна	Дуже Брудна	Дуже Брудна
1996	Дуже Брудна	Брудна	Брудна
1997	Дуже Брудна	Брудна	Дуже Брудна
1998	Брудна	Брудна	Брудна
1999	Брудна	Брудна	Брудна
2000	Брудна	Брудна	Брудна
2001	Помірно забруднена	Брудна	Брудна
2002	Помірно забруднена	Брудна	Брудна
2003	Брудна	Брудна	Брудна
2004	Помірно забруднена	Брудна	Брудна
2005	Брудна	Помірно забруднена	Брудна
2006	Помірно забруднена	Брудна	Брудна
2007	Помірно забруднена	Помірно забруднена	Брудна
2008	Помірно забруднена	Помірно забруднена	Брудна
2009	Помірно забруднена	Помірно забруднена	Брудна
2010	Помірно забруднена	Помірно забруднена	Брудна
2011	Помірно забруднена	Помірно забруднена	Помірно забруднена
2012	Помірно забруднена	Помірно забруднена	Помірно забруднена
2013	Помірно забруднена	Помірно забруднена	Помірно забруднена
2014	Помірно забруднена	Помірно забруднена	Помірно забруднена
2015	Помірно забруднена	Помірно забруднена	Брудна

4. ВИСНОВКИ

Результати оцінки ступеня забруднення вод річки Сіверський Донець за трьома комплексними індексами (коефіцієнт забруднення χ , індекс забруднення ІЗВ, узагальненому індексу стану вод I_{CB}) для багаторічного періоду показали, що стійкість екосистеми р. Сіверський Донець порушена. Згідно із коефіцієнтом забруднення χ ступінь забруднення “інтенсивний” та “катастрофічний”. За показником ІЗВ установлені класи

якості води як IV (забруднена) та V (брудна). У відповідності із узагальненим індексом I_{CB} води річки також класифікуються як “брудні”. Якість води погіршується вниз за течією. Найгірші показники якості спостерігаються в створі Лисичанськ. Значну роль у забрудненні вод нижньої течії р. Сіверський Донець відіграють води правобережних приток, які течуть з Донецького Кряжу. Вони мають високу мінералізацію, містять у собі важкі метали, які надходять до пове-

рхневих водотоків разом із промисловими водами, із скидами шахтних і кар'єрних вод. Води цих річок віднесені до V (брудні) та VI (дуже брудні) класів забруднення. Аналіз ступеня забрудненості вод у часі, показав, що найбільше забруднення спостерігалось у 90-ті роки минулого сторіччя.

На початку XXI сторіччя якість води стала покращуватися. З “дуже брудної” вона стала “помірно брудною”. Відносне зменшення забруднення річки пов'язане із скороченням обсягів виробництва.

ПОДЯКИ

Автори виражають щирі подяки спеціалістам Київської Центральної Геофізичної Обсерваторії за надання матеріалів з гідрології та гідрохімії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Директива 2000 / 60 / ЄС Європейського Парламенту і ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/371-2015-p> (дата звернення : 08.02.2019).
- Романенко В. Д. Основи гідроекології. Київ : Генеза, 2004. 664 с.
- Вишневський В. І. Річки і водойми України. Стан і використання. Київ : Віпол, 2000. 375 с.
- Вишневський В. І., Косовець О. О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ : Ніка-Центр, 2003. 324 с.
- Процеси формування хімічного складу поверхневих вод / Осадчий В. І., Набиванець Б. Й., Линник П. М. та ін. Київ : Ніка-Центр, 2013. 240 с.
- Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Романенко В. Д., Жупанський В. М., Оксіюк О. П. та ін. Київ : Символ-Т, 1998. 28 с.
- Сучасний екологічний стан української частини річки Сіверський Донець : експедиційні дослідження / Гриценко А. В., Васенко О. Г., Колісник А. В. та ін. ; за ред. д-ра геогр. наук, проф. А. В. Гриценка, канд. біол. наук, доц. О. Г. Василенка. Харків : ВПП «Контраст», 2011. 340 с.
- Оцінка емісії біогенних елементів та органічних речовин у поверхневій воді басейну р. Сіверський Донець від дифузних джерел / Осадчий В. Д. та ін. *Тези доповідей VII Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю “Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології”, присвяченої 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України*, 13 - 14 листопада. Київ, 2018. С. 113-114.
- Сіверський Донець : Водний та екологічний атлас / Василенко О. Г., Гриценко А. В., Карабаш Г. О. та ін. ; за ред. А. В. Гриценка, О. Г. Василенка. Харків : ВД «Райдер», 2006. 188 с.
- Юрасов С. М., Сафранов Т. А., Чукай А. В. Оцінка якості природних вод : навч. пос. Одеса : Екологія, 2012. 168 с.
- Бардов В. Г. Гігієна та екологія. Вінниця : Нова книга, 2006. 720 с.
- Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод : підручник. Київ : Ніка-Центр, 2001. 264 с.
- Юрасов С. М., Кур'янова С. О., Юрасов М. С. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. № 5. С. 42-53.
- Loboda, N. S., Smalii, O. V. Dynamics of quality of river water along the Siverskyi Donets river of different discharge. *Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference*, 30 September. Warsaw, Poland, 2018. Vol. 2. Pp. 12-18.

REFERENCES

- Dyrektyva 2000 / 60 / ES Yevropeiskoho Parlamentu i rady vid 23 zhovtnia 2000 roku pro vstanovlennia ramok diialnosti Spivtovarystva u sferi vodnoi polityky. [Directive 2000 / 60 / EU of the European Parliament and of the Council about establishing a scope of activities in the field of water policy from 23 October 2000 year]. Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/371-2015-p> (Accessed: 08.02.2019) (in Ukr.)
- Romanenko, V.D. (2004). *Osnovy hidroekologii [Basics of hydroecology]*. Kyiv: Heneza. (in Ukr.)
- Vyshnevskiy, V.I. (2000). *Richky i vodoimy Ukrainy. Stan i vykorystannia [Rivers and reservoirs of Ukraine. Condition and use]*. Kyiv: Vipol. (in Ukr.)
- Vyshnevskiy, V.I. & Kosovets, O.O. (2003). *Hidrolohichni kharakterystyky richok Ukrainy [Hydrological characteristics of rivers of Ukraine]*. Kyiv: Nika-Tsentr. (in Ukr.)
- Osadchyi, V.I., Nabyvanets, B.I., Lynnyk, P.M. et al. (2013). *Protsezy formuvannia khimichnoho skladu poverkhnevyykh vod [Processes of forming the chemical composition of surface water]*. Kyiv: Nika-Tsentr. (in Ukr.)
- Romanenko, V.D., Zhupanskyi, V.M., Oksiiuk, O.P. et al. (1998). *Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnyimi katehoriiami [Methodology of ecological assessment of surface water quality by appropriate categories]*. Kyiv: Symvol-T. (in Ukr.)
- Hrytsenko, A.V., Vasenko, O.H., Kolisnyk, A.V. et al. (2011). *Suchasnyi ekolohichniy stan ukrainskoi chastyny richky Siverskyi Donets [The modern ecological state of the Ukrainian part of the river Siverskyi Donets]*. Edited by A.V. Hrytsenko, O.H. Vasenko. Kharkiv: VPP «Kontrast». (in Ukr.)
- Osadcha, N.M., Ukhan, O.O., Chekhniy, V.M. et al. (2018). [Assessment of the emission of nutrients and organic substances in the surface waters of the river Siverskyi Donets from diffuse sources]. *Tezy dopovidei VII Vseukrainskoi naukovoї konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu “Problemy hidrolohii, hidrokhimii, hidroekolohii”, prsviachenoi 100-richchiu vid dnia zasnuvannia Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy [Theses of reports of the VII All-Ukrainian Scientific Conference with International Participation “Problems of Hydrology, Hydrochemistry, Hydroecology” devoted to the 100th anniversary of the foundation of the National Academy of Sciences of Ukraine]*, 13-14 November. Kyiv, pp. 113-114 (in Ukr.)
- Vasenko, O.H., Hrytsenko, A.V., Karabash, H.O. et al. (2006). *Siverskyi Donets [Siverskyi Donets River]*. Edited by A.V. Hrytsenko, O.H. Vasenko. Kharkiv: VD «Raider». (in Ukr.)
- Yurasov, S.M., Safranov, T.A. & Chuhai, A.V. (2012). *Otsinka yakosti pryrodnykh vod [Assessment of the quality of natural water]*. Odesa: Ecology Publ. (in Ukr.)

11. Bardov, V.H. (2006). *Hihiiena ta ekolohiia [Hygiene and ecology]*. Vinnytsia: Nova knyha. (in Ukr.)
12. Snizhko, S.I. (2001). *Otsinka ta prohnozuvannia yakosti pryrodnykh vod [Estimation and prediction of the quality of natural water]*. Kyiv: Nika-Tsentr. (in Ukr.)
13. Yurasov, S.M., Kurianova, S.O. & Yurasov, M.S. (2009). Kompleksna otsinka yakosti vod za riznymi metodykamy ta shliakhy yii vdoskonalennia [Comprehensive assessment of water quality by different methods and ways of its improvement]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 5, pp. 42-53. (in Ukr.)
14. Loboda, N.S. & Smalii, O.V. (2018). Dynamics of quality of river water along Siverskyi Donets River of different discharge. *Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference*, 30 September. Warsaw, Poland, vol. 2, pp. 12-18.

ASSESSMENT OF CHANGES IN THE WATER QUALITY ALONG THE LENGTH OF THE SIVERSKYI DONETS RIVER AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY

N. S. Loboda, O. V. Smalii, I. V. Katynska, O. M. Kotovich

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, natalie.loboda@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>

The relevance of the problem consists in the need to achieve a "good status" of water in the rivers of Ukraine according to the objectives of the Water Framework Directive. The aim of the work is to identify the main trends of water quality changes over time and along the length of Siverskyi Donets River based on data of the hydrochemical observations for the period from 1985 to 2015 inclusive. To establish the water quality we used integral assessments based on hydrochemical indicators such as pollution coefficient, water pollution index, generalized index of water state in accordance with the water quality standards for fishery. The article shows that use of mandatory (priority) chemical indicators in the calculations of the pollution coefficient and the water pollution index does not reflect a real degree of water pollution, since it does not take into account a significant amount of pollutants. It was discovered that major pollutants in the main river include suspended substances, chromium, nitrite nitrogen, phenols, sulfates. For the right-bank tributaries of Siversky Donets (illustrated by the example of the Kryvyi Torets River) originating from Donetsk Upland heavy metals (chromium, copper, zinc) pollution is typical. The degree of pollution based on the coefficient of pollution for average multi-year period is deemed as catastrophic, and based on the index of water pollution it is labelled with IV (contaminated) and V (very contaminated) quality classes indicating a violation of the ecosystem stability. Based on the generalized index, the water is also classified as "contaminated". The calculations based on various integral indicators of water quality revealed that pollution of the Siversky Donets River increases downstream. This is due to growing anthropogenic impact (municipal and industrial waters of large cities, discharge of mine and open pit waters into surface waterways, withdrawal of the runoff for its redirection to canals and water conduits, presence of diffuse sources of pollution by biogenic and organic substances). The beginning of the 21st century saw a trend towards improvement established in the chronological course of integral indicators of water quality which was associated with decrease production volumes. According to the generalized index of water state the water quality of the main river gradually changes from "contaminated" and "very contaminated" to "moderately contaminated", but contamination by heavy metals, biogenic and organic substances remains high.

Keywords: the Siverskyi Donets River; pollutants; assessment of water quality based on complex indices, dynamics of water pollution degree.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПО ДЛИНЕ РЕКИ СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ В НАЧАЛЕ XXI СТОЛЕТИЯ

Н. С. Лобода, О. В. Смалій, І. В. Катинская, О. Н. Котович

Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, natalie.loboda@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>

Актуальность проблематики состоит в необходимости достижения «хорошего статуса» воды в реках Украины, согласно задач Водной Рамковой Директивы. Целью работы является выявление основных тенденций изменения качества воды во времени и по длине реки Северский Донец на базе гидрохимических наблюдений, рассматриваемых до 2015 года включительно. Для установления качества воды были использованы интегральные оценки по гидрохимическим показателям, среди которых коэффициент загрязнения, индекс загрязнения воды, обобщенный индекс состояния вод в соответствии с рыбохозяйственными нормами качества вод, поскольку последние учитывают как основные, так и более слабые звенья водных экологических систем. Показано, что использование обязательных (приоритетных) химических показателей в расчетах коэффициента загрязнения и индекса загрязнения воды не позволяет полностью оценить качество воды в главной реке и на притоках из-за значительного количества загрязняющих веществ. Выявлено, что основными загрязняющими веществами в главной реке являются взвешенные вещества, хром, азот нитритный, фенолы, сульфаты. Для правобережных притоков Северского Донца (показано на примере реки Кривой Торец), которые берут начало с Донецкой возвышенности, характерным является загрязнение тяжелыми металлами (хром, медь, цинк). Установлено, что разработанный в Одесском государственном экологическом университете обобщенный индекс состояния вод может быть успешно применен для оценки качества вод. На базе расчетов по разным критериям качества поверхностных вод выявлено, что загрязнение реки Северский Донец усиливается по длине реки от створа г. Огурцов до створа г. Лисичанск, что связано с возрастающим антропогенным влиянием (коммунальные и промышленные воды больших городов, сброс в поверхностные водотоки шахтных и карьерных вод, изъятие стока для переброса его по каналам и водоводам, наличие диффузных источников загрязнения биогенными элементами и органическими веществами). В начале XXI столетия в хронологическом ходе интегральных показателей качества вод установлена тенденция к улучшению, что связано с уменьшением объемов производств. Воды, которые классифицировались в прошлом как «грязные» и «очень грязные» стали преимущественно «умеренно грязными».

Ключевые слова: река Северский Донец; загрязняющие вещества; оценка качества вод по комплексным индексам; динамика степени загрязнения вод.

Подання до редакції : 18. 02. 2019
Надходження остаточної версії : 27. 02. 2019
Публікація статті : 30. 05. 2019

УДК 551.466

INTEGRATED MARINE MONITORING FOR DRILLING DISCHARGES UNDER MESOTIDAL FORCING

O. Makarynskyy, D. Makarynska

*Metocean Dynamic Solutions, 9 Seale Street, Fannie Bay, 0820 NT, Australia,
makarynskyy@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0002-0505-5882>*

There is a range of hydrocarbon exploration and extraction industrial project activities taking place on the North West Shelf of the Australian Continent. The shelf is a diverse and important marine ecosystem, with a number of globally significant shallow coral reefs and marine protected areas, which are vital for survival of threatened and protected species.

Some of the mentioned exploration and extraction activities, such as offshore drilling, may be permitted within few kilometres away from sensitive habitats extant near a project resource extraction area. The habitats may in some cases be presented by submerged shoal ecosystems of high biodiversity and thus high environmental/ecological value, due to the presence of either or both benthic biota and fish assemblages.

As part of an environmental assessment program for the industrial activities, some of the offshore exploration operators examine the effects of drilling discharges on the marine ambience. This study describes such an assessment. For the assessment, a novel integrated marine monitoring approach was conceptually designed; the program was then executed in the field using bottom-mounted equipment and a remotely operated underwater vehicle with sensors mounted on it.

This study focuses on assessing the wind conditions in the project area, sea level and current velocities, in situ water temperature, salinity, turbidity and acoustic echo intensity, over several stages of the drilling operations while the drilling cuttings and muds were discharged into the water column.

The collected during the austral autumn months of April and May winds showed prevailing east-southeasterlies, which is aligned well with the general understanding of wind climatology of the area. Importantly, stronger than usual winds may have a defining impact on current speeds and directions, with the current speeds enhanced by such winds. On these occasions the water transporting a discharge material may pushed towards the sensitive habitat present in the area. Normally though the hydrodynamics in the project area are dominated by semi-diurnal tides.

Both vertical current velocity and water temperature distributions indicated the presence of three layers within the water column over the project site. The vertical distribution of water salinity was rather homogenous throughout the entire water column.

The monitored by an optical instrument turbidity and acoustic echo intensity from an ADCP (acoustic Doppler current profiler) showed that tracing discharge plumes with a remotely operated underwater vehicle is a viable technique, which could be implemented at other locations. Such independent parameters though need a thorough cross-calibration and inter-validation for the results to be fully understood.

Key words: drilling, cuttings, muds, turbidity, plume, remotely operated underwater vehicle, continental shelf, water column layering, acoustic Doppler current profiler, echo intensity

1. INTRODUCTION

There is a range of hydrocarbon exploration and extraction industrial project activities taking place on the North West Shelf (NWS) of the Australian Continent. Meanwhile, the NWS is a place where diverse and globally important marine ecosystems exist. There are such ecologically significant bathymetric and topographic features as Ashmore, Scott and Seringapatam Reefs, and Rowley Shoals. There also are a number of marine protected and biologically important areas for benthic and pe-

lagic flora and fauna, including such threatened megafauna species as whale sharks, pygmy blue whales and flatback turtles. Recognised key ecological features of the NWS also include the Ancient Coastline at 125 m depth and numerous banks and mounds that support diverse reef communities (see e.g. [1, 3]).

Notably, some of the industrial activities on the NWS, such as offshore exploration drilling, may be permitted within few kilometres away from sensitive habitats extant in the area. The habitats may in some cases be presented by submerged shoal

ecosystems of high biodiversity and thus high environmental / ecological value, due to the presence of either or both benthic biota and fish assemblages.

The sensitivity of such habitats to anthropogenic impacts is due to their remoteness from any populated areas, tens and hundreds of kilometres away from the continental coastline. Therefore, such common in the nearshore areas stressors as degraded water quality and high turbidity (frequently detected near coastal towns and cities) are not normally affecting the offshore habitats; since the abundance of species and diversity of marine ecosystems staying virtually undisturbed by anthropogenic activities for prolonged periods of time.

As part of the risk assessment program for the industrial activities, some of the offshore exploration operators examine the effects of drilling discharges on the marine ambience. This study describes such an assessment. For the assessment, a novel integrated marine monitoring approach was conceptually designed and then executed in the field using a number of bottom-mounted and water column positioned sensors and oceanographic instruments. To collect in situ, water column data, such cutting edge technology as a remotely operated underwater vehicle (ROV) was used with a number of oceanographic and water quality sensors mounted on it.

The objective of this field monitoring program was to assess and understand fates of plumes of drilling cuttings and muds, and probable environmental impacts from such plumes. This would allow reducing uncertainty and in turn improving management of drilling campaigns around/near sensitive environments, and also assessing any ecosystem changes associated with drilling activities.

The present study describes the undertaken field program and desktop assessment components, and analyses the collected marine and water quality data.

2. PROJECT SITE LOCATION

The drilling project area was located approximately 120 km offshore off the Pilbara Coast of Western Australia, on the NWS of the Australian continent. The precise location of the operations may not be disclosed due to the project commercial sensitivities.

The drilling site was located in the water approximately 80 m deep. The site was at a distance of approximately 5 km from the closest submerged reef system, which rises from around 120 m depth up to 20 m depth at its shallowest point. The reef is a unique bathymetric feature, which supports a number of diverse shallow ecosystems in the oth-

erwise homogenous sedimentary continental shelf setting.

3. EQUIPMENT AND COLLECTED DATA

There were three sets of equipment used to collect the metocean data.

There was a weather monitoring station installed on the mobile offshore drilling platform. The collected wind data were accordingly processed and converted to 10 m above water surface before being used in further calculations.

There was a set of instruments consisting of an acoustic Doppler current profiler (a 100 kHz Teledyne RDI Workhorse ADCP) and a pressure gauge mounted on a frame and deployed at the seabed, 200 m north-west from the drilling site. The location for the frame was selected based on the worst case scenario for the drilling discharge plumes moving in the direction of the sensitive habitats.

There also was a set of oceanographic and water quality sensors mounted on the ROV. The sensors were collecting registrations of the following marine environmental parameters;

- In situ water temperature and salinity,
- In situ turbidity,
- Vertical transects of acoustic echo intensity collected by a 300 kHz Teledyne RDI Workhorse ADCP.

The turbid plumes from different types of discharge operations are notoriously patchy and difficult to detect and follow in the field (see e.g. [6-7]). Therefore the purpose of the instrumentation being mounted on the ROV specifically for this field program was to visually assess the in situ water turbidity and delineate the turbid discharge plumes, and then follow the plumes when detected. The sensors operated remotely would in this case collect data inside such plumes, which otherwise would not be easily achievable (see e.g. [9]).

All the itemised marine environmental parameters were monitored over the period of drilling operations in progress, in April-May 2017. For the purposes of the present study, the collected data were processed and visualised; an analysis and respective discussion are presented below.

4. DATA ANALYSIS

4.1 Data presentation

In the present study, data analysis is based on wind/current rose and time series plots, as well as box plots.

The rose plots depict compass points, data per-

centages and data ranges within the provided colour scale.

Time series plots present values at specific times, over the deployment periods.

The box plots provide a visualization of summary statistics and contain the following features:

- the tops and bottoms of each "box" are the 25th and 75th percentiles of the data, respectively; the distances between the tops and bottoms are the interquartile ranges
- the line in the middle of each box is the median; if the median is not centred in the box, it shows sample skewness
- the whiskers are lines extending above and below each box; whiskers are drawn from the ends of the interquartile ranges to the furthest observations within the whisker length (the adjacent values)
- observations beyond the whisker length are outliers marked with red + signs; an outlier is a value that is more than 1.5 times the interquartile range away from the top or bottom of the box.

4.2 Wind monitoring

Wind is an important meteorological parameter due to its contribution to current generation and water mixing [6, 9, 11]. Figure 1 and Figure 2 respectively exhibit wind rose and box plots of the wind records collected at the project location in April-May 2017.

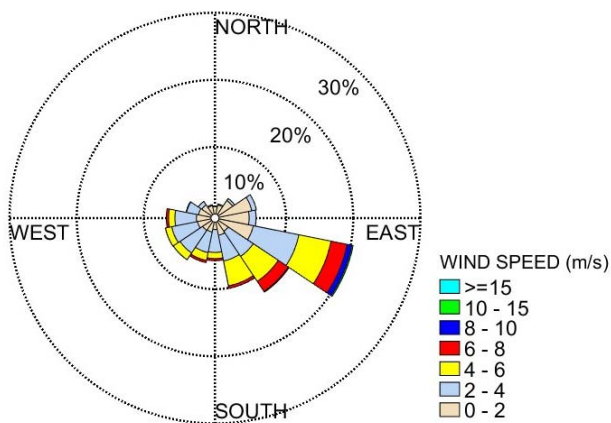


Figure 1 - Wind rose for winds recorded over monitoring period

An analysis of the figures suggests that the winds were from various directions, with up to 40-45% of winds from east-southeast through to south-southeast. There were winds with up to 12 m/s speeds observed from east-southeast and south-east. Such winds are typically observed in the area during the months of April and May.

Figure 3 presents wind speed and direction time

series from the same location for the period of oceanographic monitoring. The plots suggest that there were several instances when 10-12 m/s winds from the south-easterly quadrant lasted for up to a day, particularly over the period of 27-29 April 2017. To understand any implications onto transport processes, these events will be considered in combination with the monitored current speeds and directions in section 4.4.

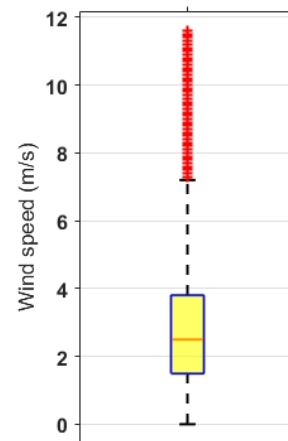


Figure 2 - Box plot for winds recorded over monitoring period

4.3 Sea level

The dominant forcing for ocean currents in the project area is barotropic tides, i.e. water motion occurs in unison over the entire water column and is chiefly caused by the gravitational attraction of the Moon and the Sun.

There was a pressure gauge deployed at the seabed stand; Figure 4 presents a time series plot of depth logs from the gauge. An analysis of the figure suggests that the tides at the deployment site are semi-diurnal. Over the deployment duration, there were periods of both neap and spring tides, with the maximal tidal range of 3.1 m, which is in line with general understanding of the tidal conditions in the area [1, 10].

4.4 Current velocities

Ocean currents are generally the major factor responsible for sediment transport in the open ocean conditions. The acoustic transducer of the ADCP was positioned 2.0 m above seabed. Due to the instrument bin size set to 2.0 m, the first bin (referred to as Bin 1 and so on thereafter) was located 4.2 m above the transducer height. A Bin is a three-dimensional cell (volume) of water in which echo

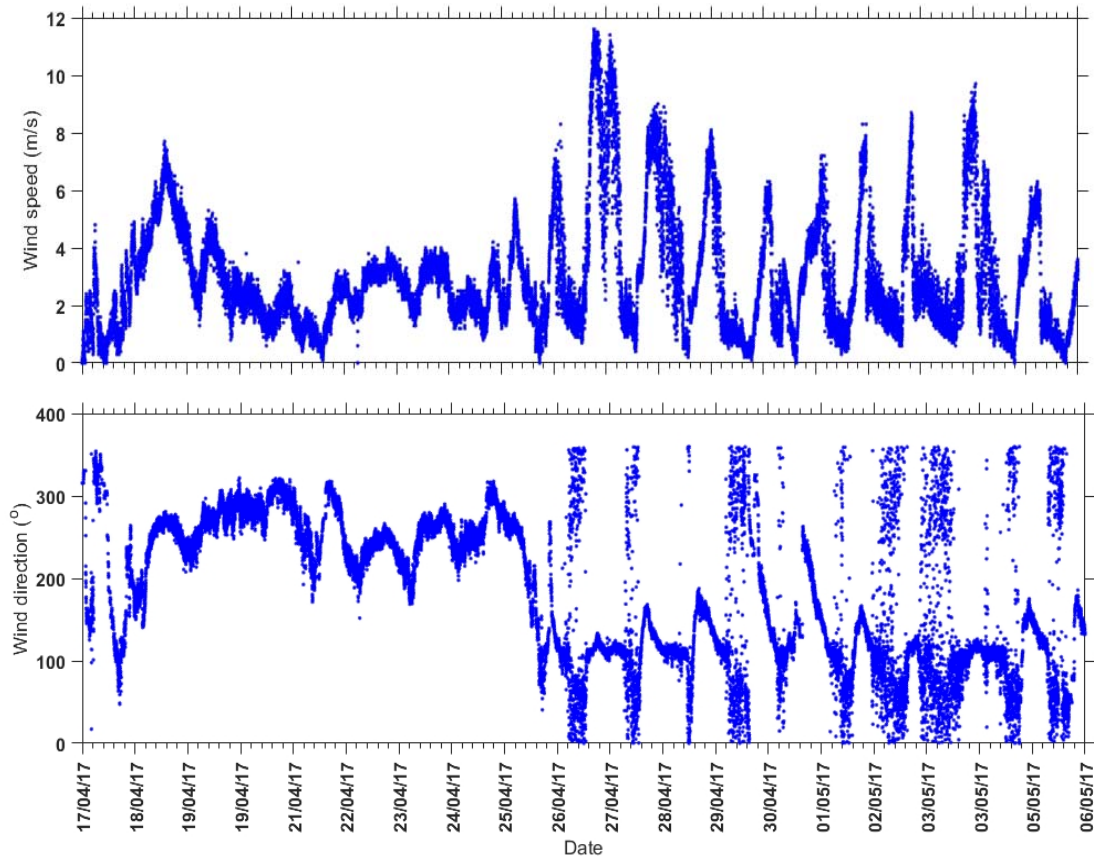


Figure 3 - Time series plots of wind speed (top panel) and direction (bottom panel) over monitoring period

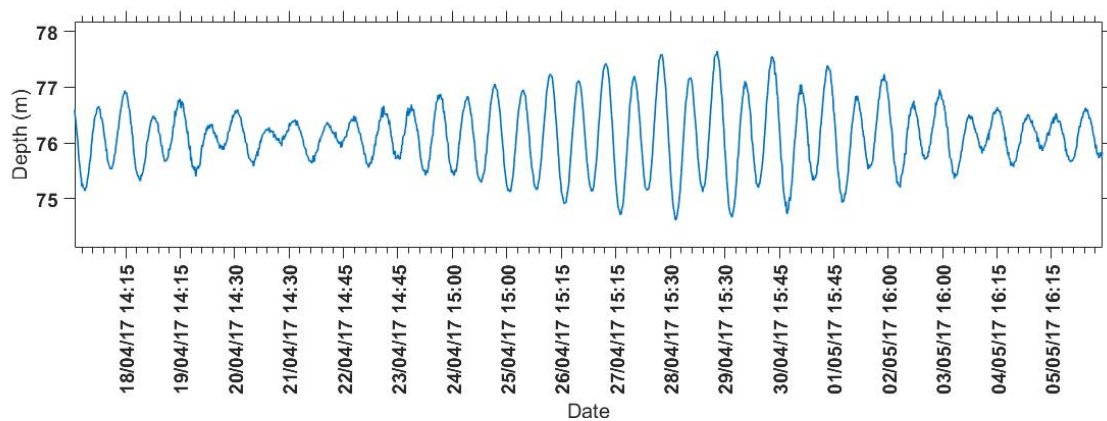


Figure 4 - Time series plots of sea level record over monitoring period

intensity and current velocity are acoustically assessed / measured by an ADCP.

An important parameter to analyse when considering an ADCP performance, is acoustic echo intensity, which is an indicator of the strength of the returned signal. Logs of acoustic echo intensity over the campaign period are presented in Figure 5.

An analysis of the data presented in Figure 5 suggests that there were strong acoustic returns

centred on bins 36-37, which were located 72.0-74.0 m above the transducer height. Adding the transducer height above seabed (2.0 m) to the distance to the first bin (4.2 m) and to the range of strong returns (72.0 m) gives the total depth of around 78 m, which was the depth at the deployment site. The bins demonstrating high echo intensity values are therefore located in the layer of reflection of the acoustic signal from the water-air boundary. There usually are one-two bins, which

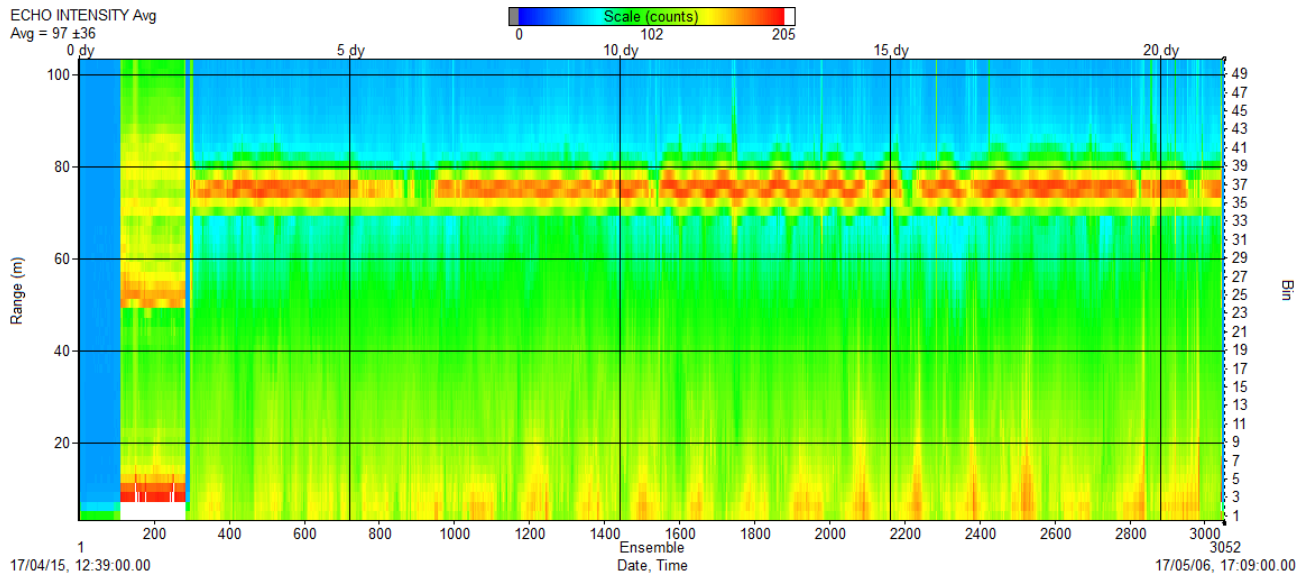


Figure 5 - Acoustic echo intensity over monitoring period

may be affected by the high intensity of the reflection from a boundary; the data from those bins may be unreliable and thus should be discarded. This effectively makes the number of bins from which acoustic information is useful equal to 34.

A current rose of current velocities averaged over the mentioned 34 bins is presented in Figure 6, and Figure 7 exhibits box plots of current speeds from each of the two metre ADCP bins.

An analysis of the depth-averaged currents suggests that west-southwesterly currents were dominant over the monitoring period.

Current roses for each of the instrument bins were also plotted (not presented here); the roses suggested some layering of the water column at the site. For instance, there were higher percentages of north-northwesterly and north-westerly currents within the near seabed water layer, up to the instru-

ment bins 7 and 8, which are located around 20-22 m from the seabed, or at around 60 m depth.

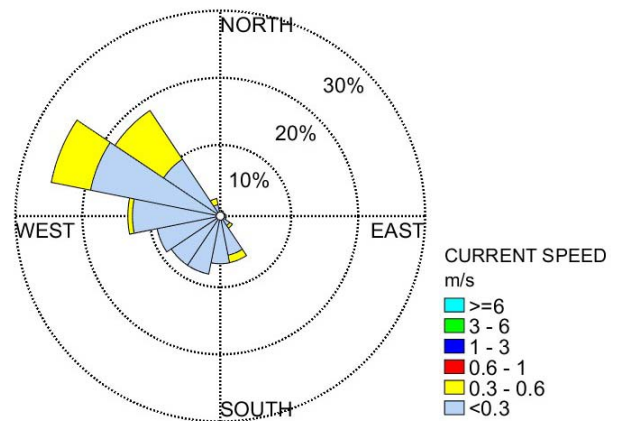


Figure 6 - Current rose plot representing averaged current velocities, from near seabed (Bin 1) through to near water surface (Bin 34)

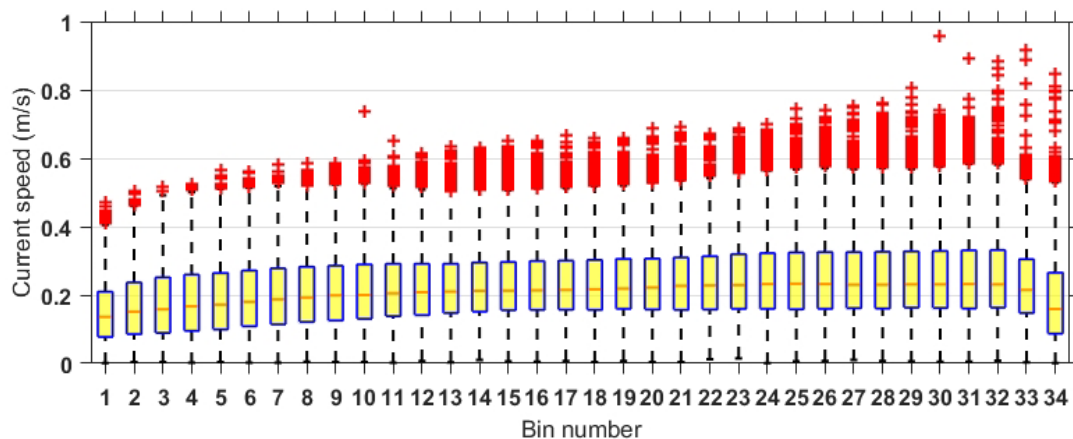


Figure 7 - Current speed for each of ADCP bins, from near seabed (Bin 1) through to near water surface (Bin 34)

Above that depth, west-northwesterly currents were dominant.

Figure 7 shows that the median current speeds were within 0.15-0.25 m/s. The slowest currents were observed near the seabed. The maximal current speeds were consistently increasing throughout water column, from 0.5 m/s near the seabed to around 0.8 m/s, and up to 1.0 m/s in the near surface water layers.

Time series plots of current speeds and directions for each of the ADCP bins were also plotted (not presented here). A comparison of the plots with the sea level record presented in Figure 4 suggested that both current speeds and directions throughout the entire water column were affected by the dominant, periodic forcing in the area, which is barotropic, semi-diurnal tides.

It has been noticed however that stronger than usual winds of up to 10-12 m/s observed on 27, 28 and 29 April (see Figure 3 for the entire time series and Figure 8 for a zoomed representation) did have a defining impact on current speeds and

directions on those days. The current speeds were higher than just from tidal forcing, which is more noticeable in the data from bin 34 sampled in the near water surface layer (Figure 9). This signal did propagate through the mid water column bin 17 (Figure 10), to the near seabed layer represented by bin 2 (Figure 11).

4.5 Water temperature and salinity

The distribution of water temperature and salinity with depth may reveal the presence of thermal stratification or halocline conditions in the water column. Both thermoclines and haloclines may lead to density layering within the water column, which in turn may limit mixing and thus affect plume dilution and transport. Therefore, monitoring of the above parameters contribute to in-depth understanding and better informed analysis in discharge plume transport studies.

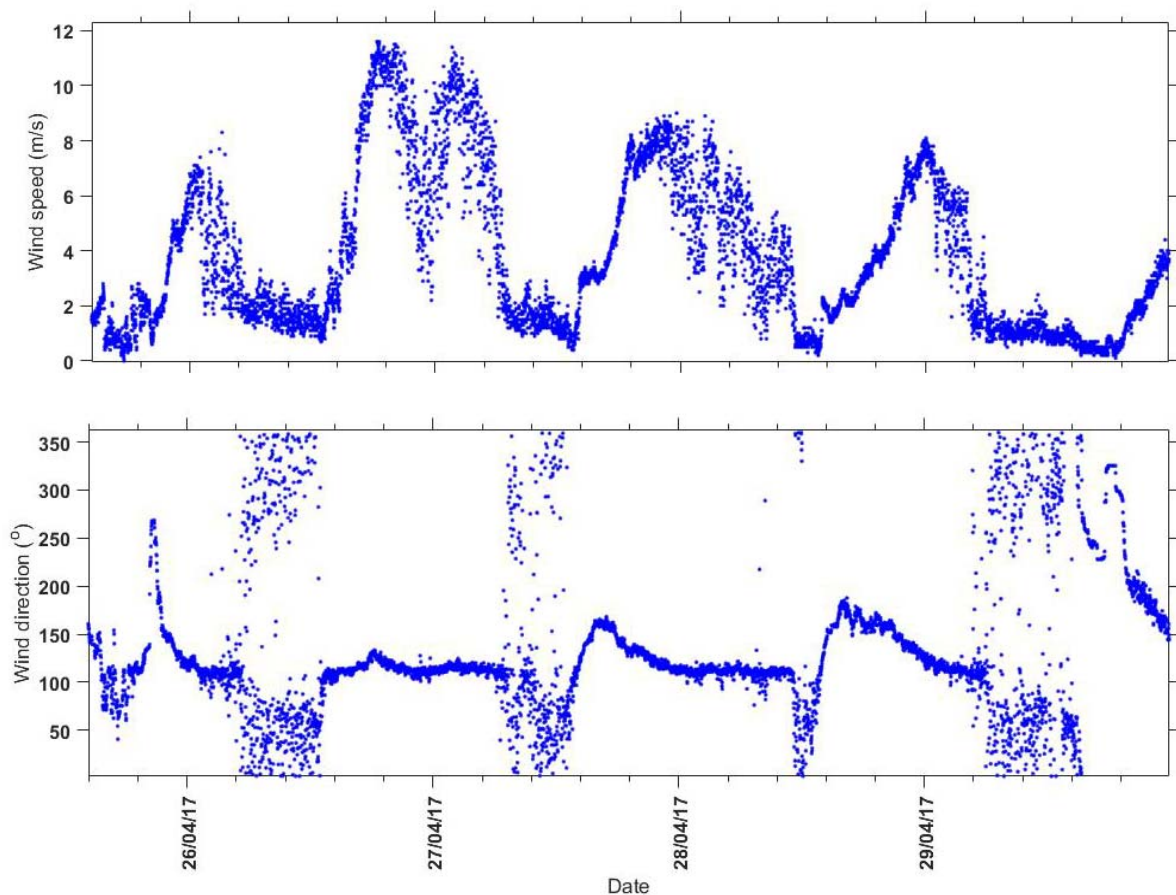


Figure 8 - Wind speeds (top panel) and directions (bottom panel), 26-29 April 2017

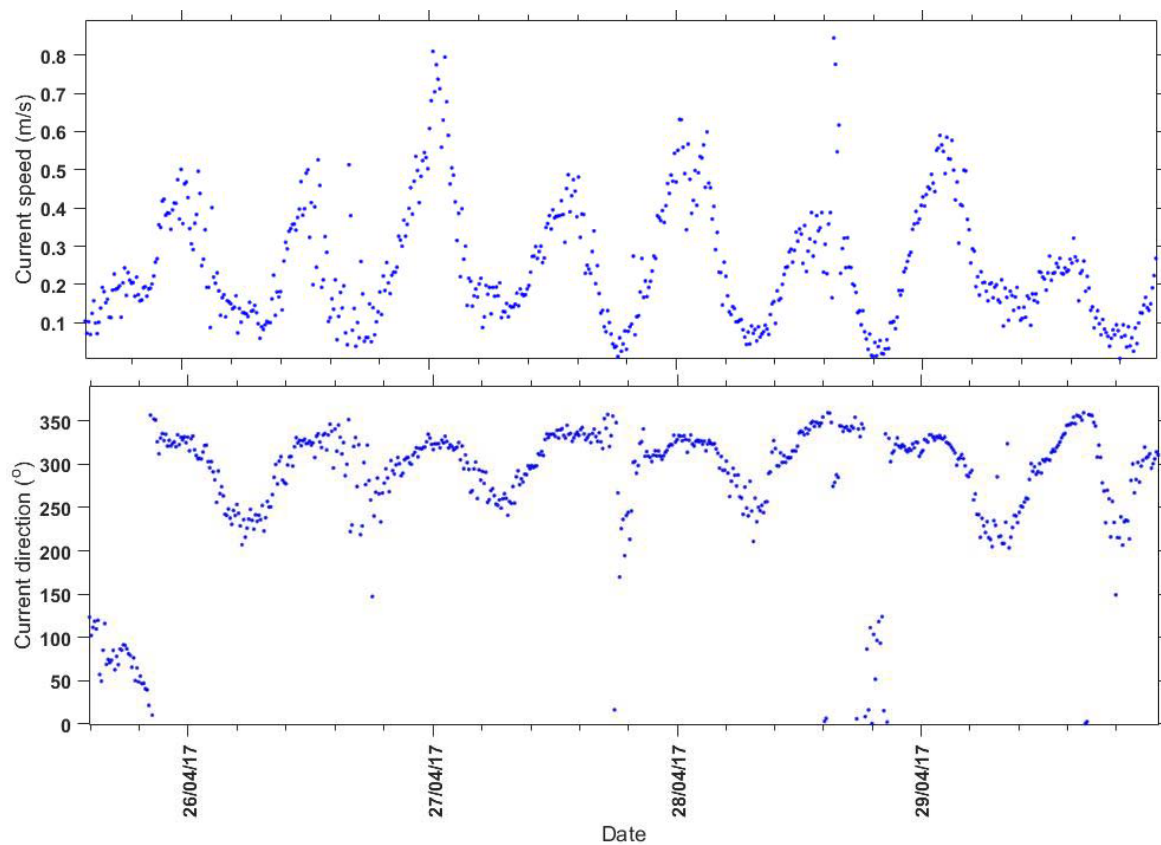


Figure 9 - Current speeds (top panel) and directions (bottom panel) from bin 34, 26-29 April 2017

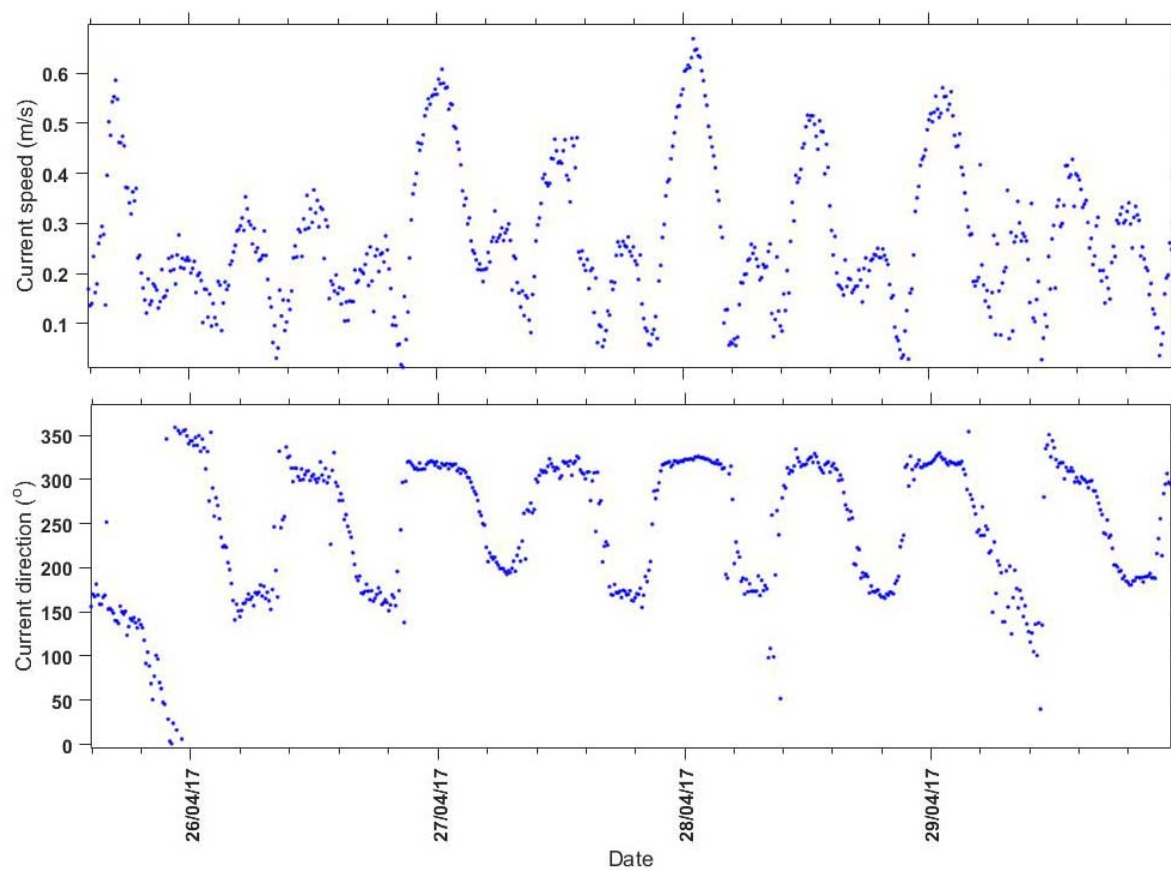


Figure 10 - Current speeds (top panel) and directions (bottom panel) from bin 17, 26-29 April 2017

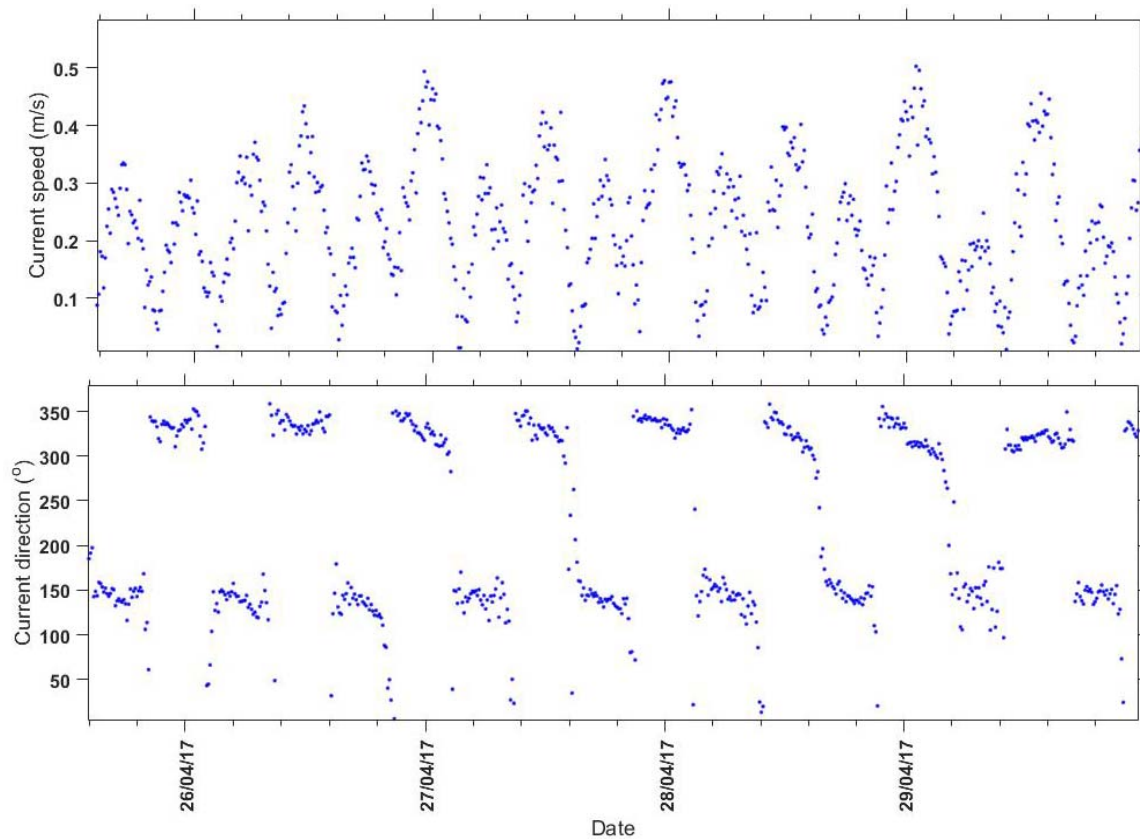


Figure 11 - Current speeds (top panel) and directions (bottom panel) from bin 2, 26-29 April 2017

There were a number of sensors mounted on the ROV, namely, temperature, salinity and pressure sensors. The pressure logs were processed and converted to depth. The distribution of water temperature and salinity with depth from the ROV multiple deployments over the monitoring period are presented in Figure 12.

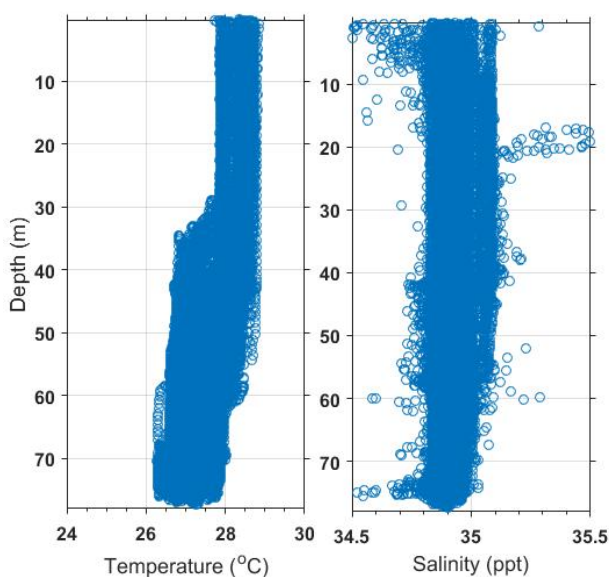


Figure 12 - Vertical distribution of temperature (left panel) and salinity (right panel) over monitoring period

An analysis of the temperature and salinity plots suggests that, based on the temperature distribution, there was water column layering observed over the monitoring period: from the water surface (0 m) to 30 m depth; from 30 m to 60 m depth; and from 60 m down to the seabed. The vertical distribution of salinity does not indicate the presence of layers though.

The above are confirmed by the box plots presented in Figure 13. There is around 0.6°C difference in water temperature among the layers. The median temperature of around 28.4°C within the 0-30 m layer is the highest among the layers, followed by the 27.8°C median within the 30-60 m layer, and the lowest median temperature of around 27.2°C within the near seabed layer.

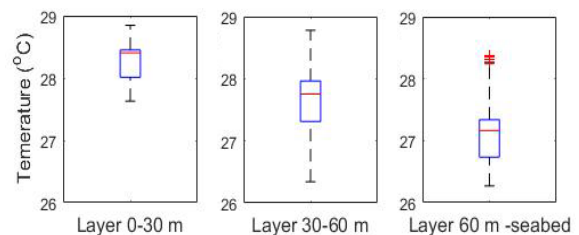


Figure 13 - Box plots of water temperature for three identified water layers

The median salinity does not vary much among the layers though and stays near constant with the value around 34.9 ppt (Figure 14).

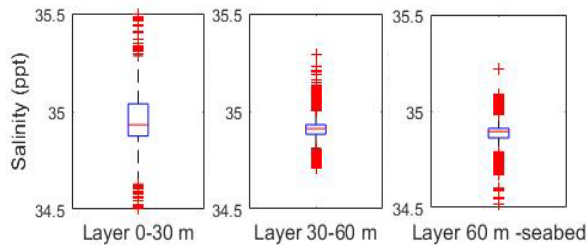


Figure 14 - Box plots of salinity for three identified water layers

4.6 Water turbidity

The variability of turbidity within the discharge plume was assessed using a turbidity sensor mounted on the ROV. There were 40 deployment logs processed and visualised; some sample timeseries of turbidity are presented in Figures 15-18.

An analysis of the obtained results suggested that the median values of turbidity were in general of few tenth of an NTU, with the top interquartile ranges within one NTU. The periods when the ROV was driven through the discharge plume are characterised by increased medians and a large number of outliers, with the registered turbidity values from a few NTU up to 450 NTU, which was set as the top limit for the turbidity logs.

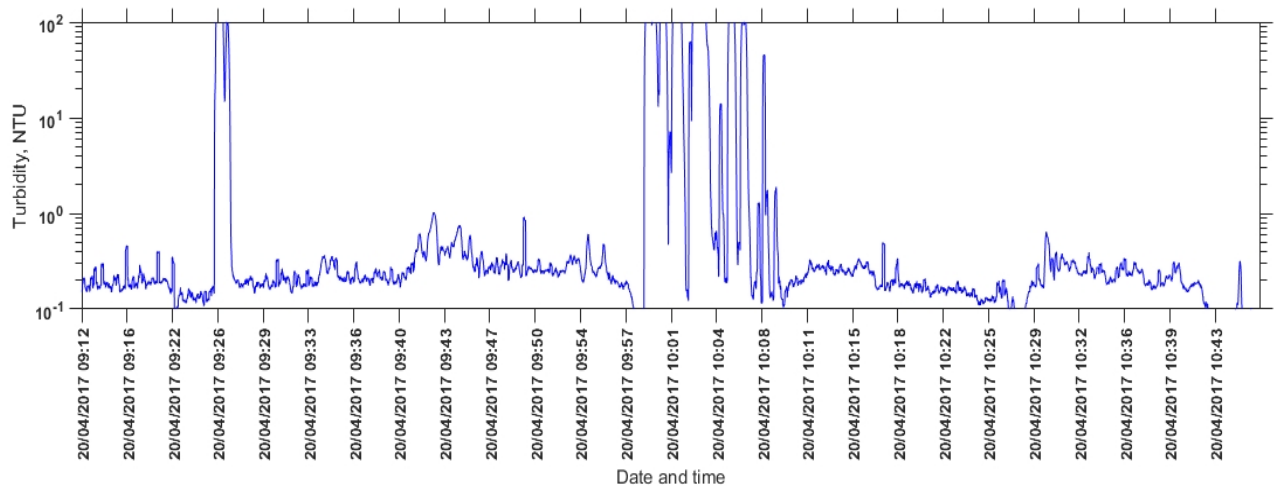


Figure 15 - Turbidity timeseries for mud release deployment of 20/04/2017

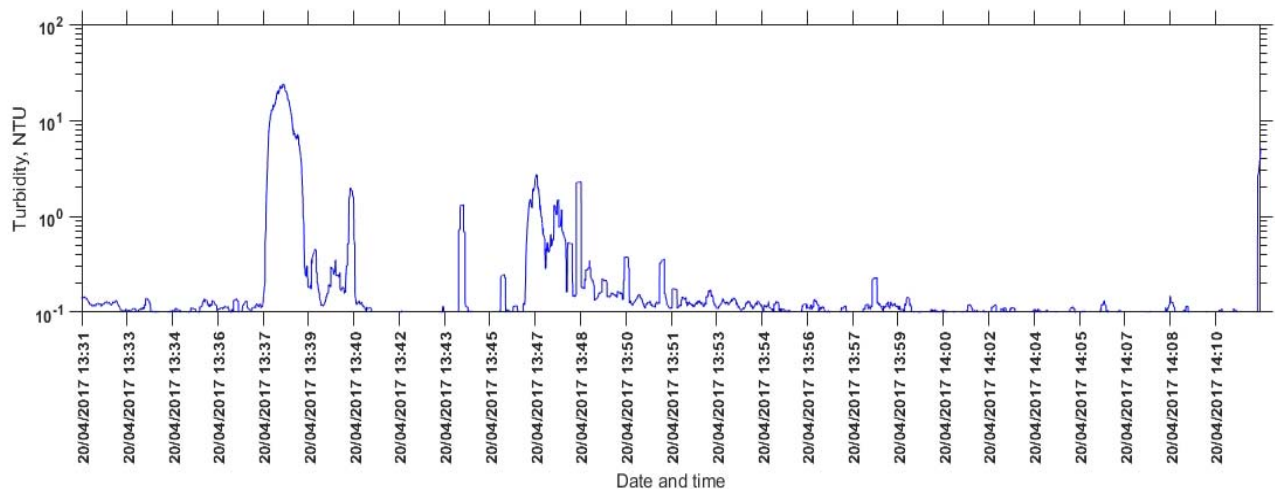


Figure 16 - Turbidity timeseries for post-release deployment of 20/04/2017

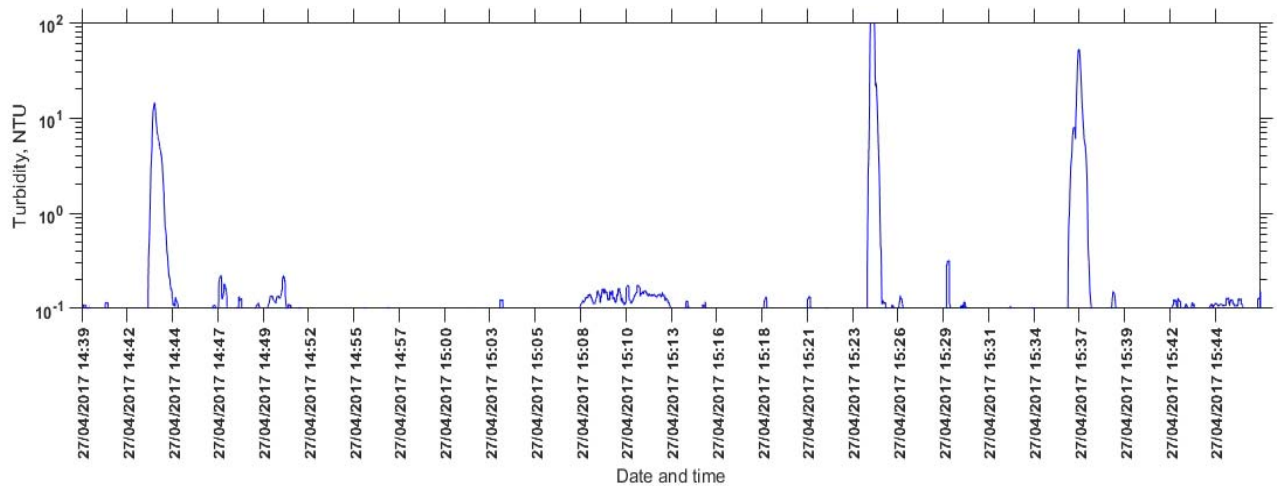


Figure 17 - Turbidity timeseries for deployment of 27/04/2017

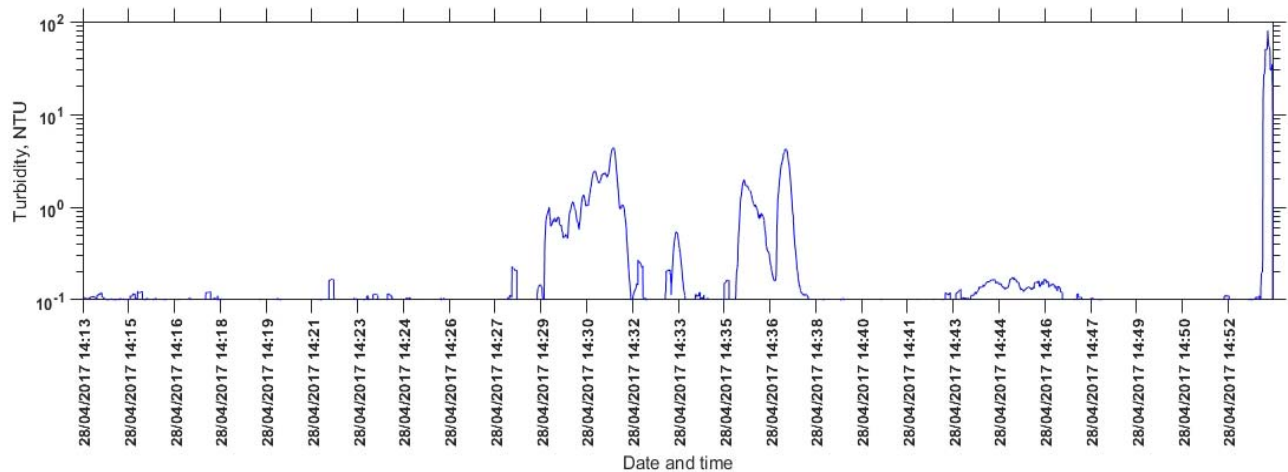


Figure 18 - Turbidity time series for deployment of 28/04/2017

4.7 Acoustic echo intensity transects

Acoustic echo intensity data in the marine environment may be collected using acoustic instruments, such as ADCPs. Acoustic echo intensity is measured in counts and is an indication of the strength of the returned signal. It is represented as a number between 0 (or 40, which is the floor count for the acoustic noise) and 255.

The higher the number of counts the stronger is the return signal. The strength of the signal depends on the properties of the medium, e.g. water density, the presence of suspended particles in the water, and the presence of the density gradients, e.g. due to the signal interacting with water-air or water-seabed separating surfaces. For the purposes of the present study, the higher echo intensity zones would suggest the discharge plume passing over the ADCP, or the ROV passing through the plume.

Vertical profiles of suspended sediment concentrations may be assessed from acoustic echo inten-

sity records, if suspended sediment samples are collected for the signal intensity calibration against the sampled concentrations (see e.g. [2, 4, 8] among many others). In this study, acoustic echo intensity data is considered in parallel with the turbidity time-series, because these two parameters were recorded simultaneously during some of the ROV deployments. Note that the ADCP pressure sensor malfunctioned; it was therefore problematic sometimes to meaningfully differentiate the higher intensities from the enhanced sediment concentrations from the ones due to the presence of the water surface.

In total, there were 33 acoustic echo intensity transects collected by an ROV mounted ADCP, all processed and plotted for the purposes of this study; due to space limitations, only some selected plots are presented here. An analysis of the plots suggests that the echo intensity of the return acoustic signal did sometimes show higher number of counts in the first several bins (usually within a 10 m and up to

20 m range from the ADCP) at approximately the same times when higher turbidity values were logged. This was the case during the deployments on 20/04/2017, where the peaking turbidity corresponds to the highest intensity counts logged around 9:26, from 9:58 to 10:08, from 13:38 to 13:39, and from 13:47 to 13:49 (Figures 15-Figures 16 and Figures 19-Figures 20 respectively). At other times, there was no obvious relation between the two parameters; for instance, the high number of echo intensity counts over several periods from 14:40 to 15:40 on 27/04/2017 does not correspond to high turbidity records (Figure 21 and Figure 17 respectively). There also were cases when part-time there was no clear correspondence (from 14:23 to 14:26 on 28/04/2017) but then a correspondence seems appearing later (from 14:29 to 14:36 on 28/04/2017), all within the same timeseries and transect deployment records, see Figure 18 and Figure 22 respectively.

5. DISCUSSION

During the austral autumn and winter months, from April and May and through to August, winds over the project area are from various directions from east through south to west, with east-southeasterlies (the so called “south-east trade winds”, see e.g. [5, 10]) becoming dominant. This is well aligned with the general understanding of wind climatology of the area, and may indicate that any discharged material from the project site may be transported towards the sensitive habitat.

Importantly, stronger than usual winds of up to 10-12 m/s observed on 27, 28 and 29 April did have a defining impact on current speeds and directions

on those days, with the current speeds being higher than just from tidal forcing. This is a very important deliberation for the present study, because, as Figure 8, Figure 9, Figure 10 and Figure 11 demonstrate, the winds on these occasions were from east-southeast and south-east, pushing water towards north-west, i.e. in the direction of sensitive habitat, with higher than usual speeds. Therefore, such wind events may result in impacts on the habitat from sediment plums discharged at the drilling location.

Nevertheless, the presented and analysed results in terms of sea levels and current velocities suggest that the hydrodynamics in the project area are dominated by semi-diurnal tides within mesotidal range.

Both current velocity and water temperature data over the monitoring period indicated the presence of three layers within the water column over the project site.

An analysis of the data suggests that the near-surface, 30 m thick water layer with stronger currents and higher temperatures may be formed by the impact of wind on the water surface and solar irradiation and water heating propagating down to 30 m depth, and even deeper at some occasions.

The near-seabed, 20 m thick water layer may have slower currents due to the bottom friction, and lower temperatures due to the relative remoteness from the source of heat, the Sun, compared to the near water surface layer.

The middle layer does not appear to be affected by either the surface or seabed forcing, and thus demonstrates slightly different characteristics from those two layers in terms of both currents and temperature.

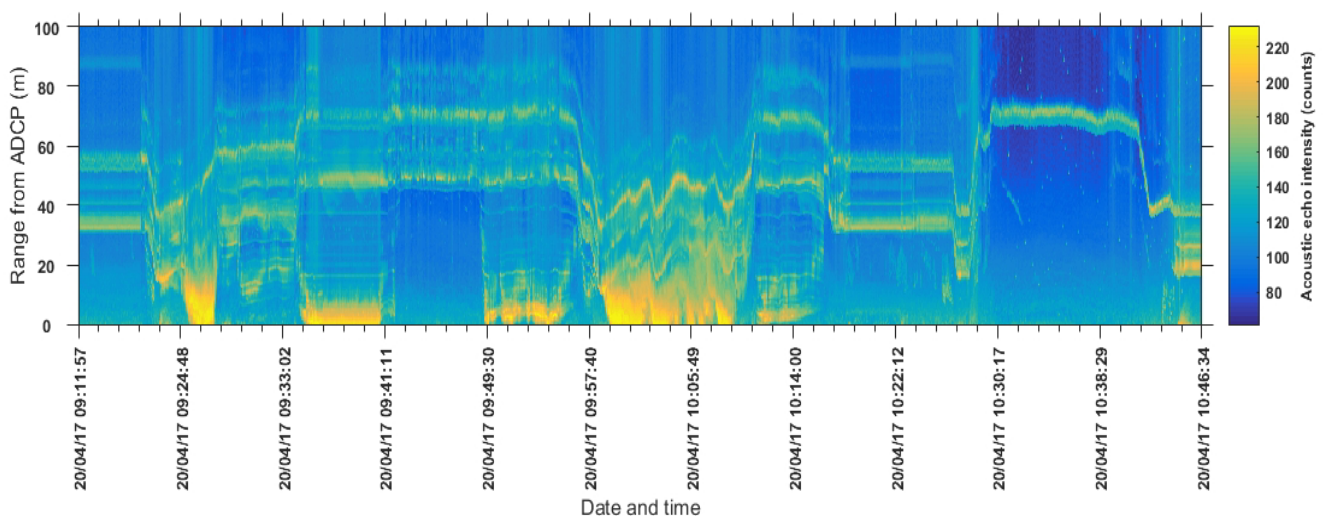


Figure 19 - Acoustic echo intensity for mud release deployment of 20/04/2017

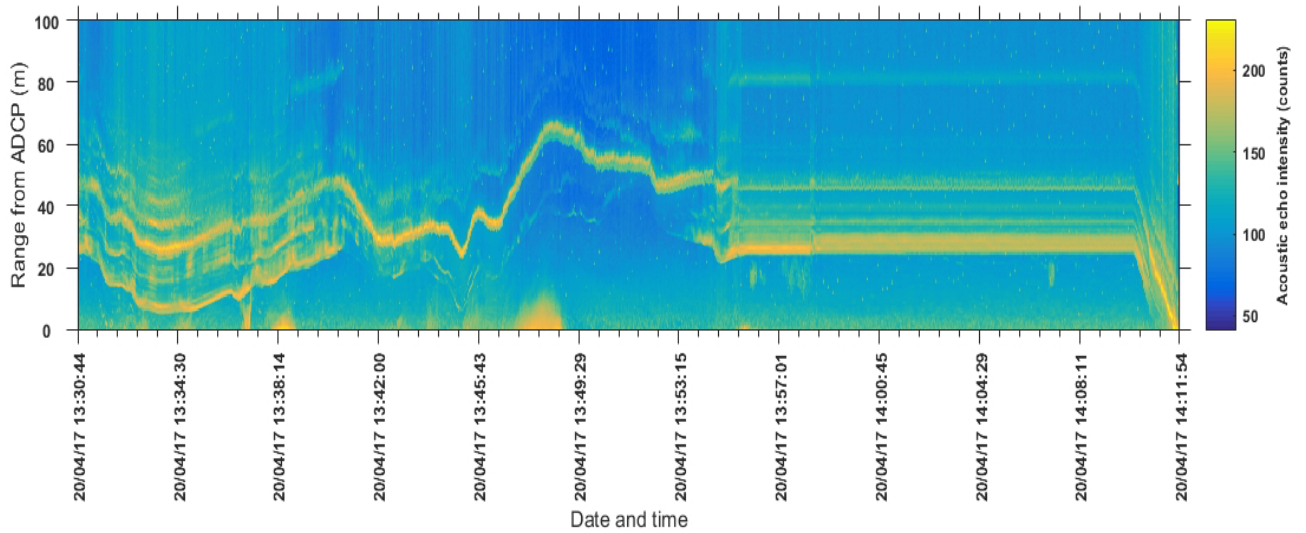


Figure 20 - Acoustic echo intensity for post-release deployment of 20/04/2017

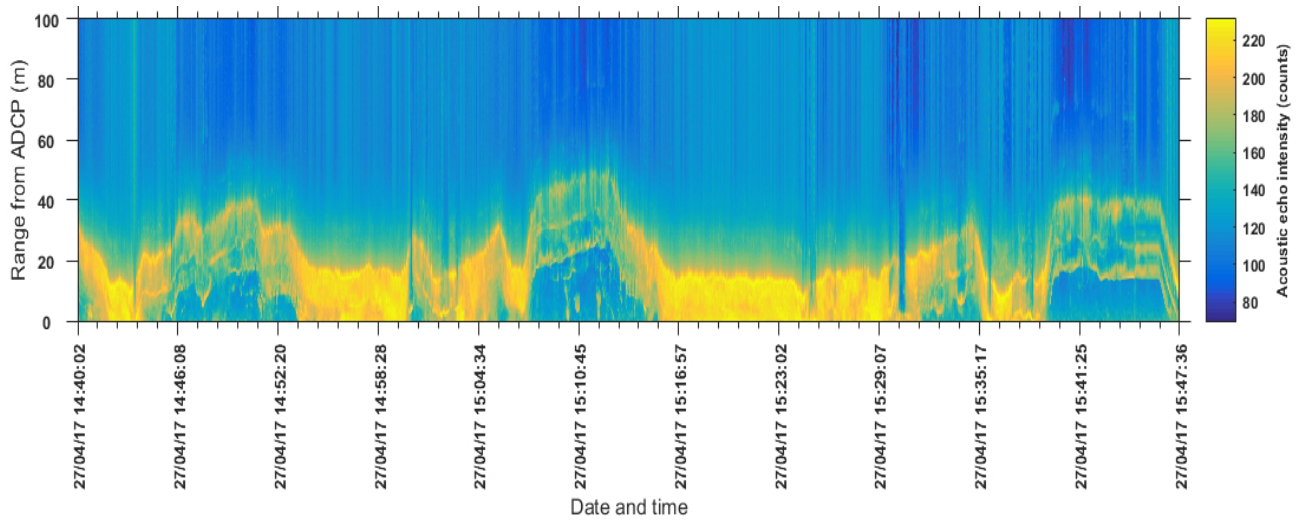


Figure 21 - Acoustic echo intensity for deployment of 27/04/2017

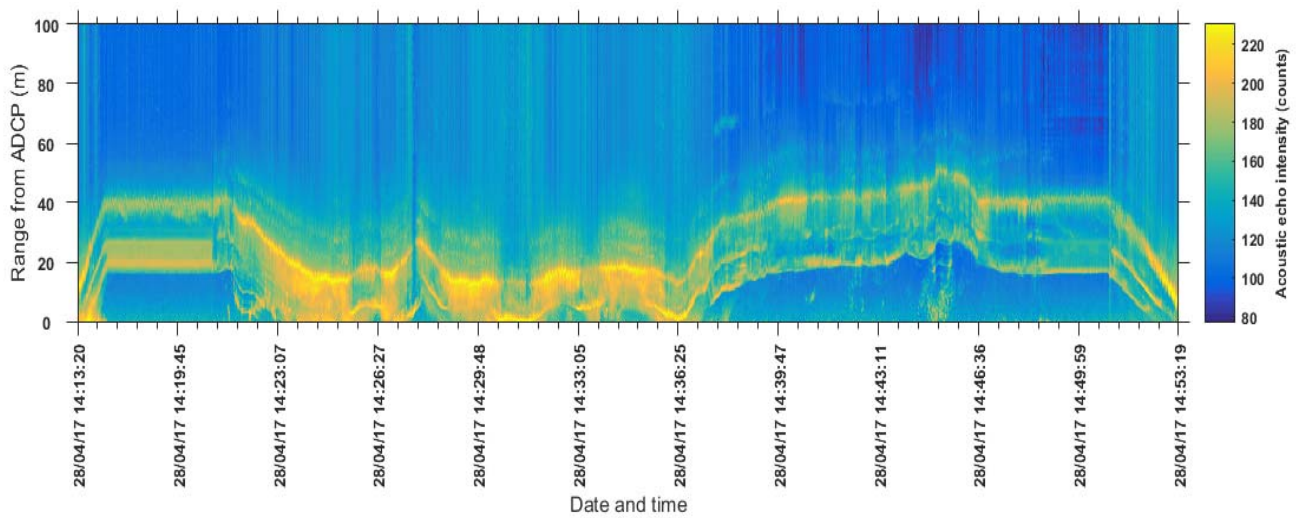


Figure 22 - Acoustic echo intensity for deployment of 28/04/2017

The water salinity was rather homogenous throughout the entire water column, which is an indication that evaporation did not play a significant role in the area over the monitoring period. This may also be an implicit indication that the oceanographic processes in the area are dominated by the tidal forcing, and the entire water layer would be moving as one most of the time.

In terms of inconsistencies in the behaviour of the monitored turbidity and acoustic echo intensity, this type of irregular behaviour of two independent parameters (one from an optical instrument and another one from an acoustic instrument) may be an indication that the interrelationship between the two parameters is non-linear; this is assuming that each of these instruments performed well and logged data consistently, without malfunction or gaps in the records.

6. CONCLUDING REMARKS

An analysis of the wind conditions for the monitoring period suggested the winds were from various directions, with up to 40-45% of winds from east-southeast through to south-southeast. The results suggested that there were several instances when 10-12 m/s winds from the south-easterly quadrant lasted for up to a day, which may be affecting patterns of transport of the discharged plums/material within the project area.

An analysis of the sea level registrations suggested semi-diurnal tides with the maximal tidal range of 3.1 m over the monitoring period.

Current data suggested the presence of a few layers: there were higher percentages of north-northwesterly and north-westerly currents within the near seabed water layer, up to around 60 m depth, and dominant west-northwesterly currents above that depth. The maximal current speeds were consistently increasing throughout water column, from 0.5 m/s near the seabed to around 0.8 m/s, and up to 1.0 m/s near the water surface. The data suggested that, at the site, both current speeds and directions throughout the entire water column are affected by the semi-diurnal tides.

An analysis of the water temperature monitoring data confirmed that there was water column layering observed over the monitoring period, with three layers present vertically. The vertical distribution of salinity did not indicate the same layering, which may be another indicator of the area being dominated by mesotides, and suggests that evaporation over the monitoring period was not significant.

The median values of logged turbidity were in

general around a few tenth of an NTU, with the top interquartile ranges within one NTU; the periods of passing through the discharge plume were characterised by increased medians and a large number of outliers, with the registered turbidity values from a few NTU up to 450 NTU.

Inter-comparisons of the acoustic echo intensity with the turbidity logs did sometimes demonstrate a good correspondence between the higher intensity counts and turbidity records, which would suggest the presence of the discharge plume passing over the instruments. At other times, however, there was no obvious relation between the two parameters. This may be an indication that the interrelationship between the two parameters is not linear; this is assuming that the acoustic and optical instruments performed and logged data consistently, without malfunction or gaps in the records.

ACKNOWLEDGMENTS

The offshore project operator is acknowledged for providing the oceanographic and water quality data used in this study.

Australian Institute of Marine Science is acknowledged for making available the necessary for this study research staff for completing technical tasks, as well as office space, hardware and software.

REFERENCES

1. D'Adamo, N., Fandry, C., Buchan, C. & et al. (2009). Northern sources of the Leeuwin Current and the "Holloway Current" on the North West Shelf. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 92(2), pp. 53-66.
2. Deines, K.L. (1999). Backscatter estimation using broadband acoustic Doppler current profilers. *Proceedings of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurement*, March 11-13. San Diego, CA, USA, pp. 249-253.
3. Falkner, I., Whiteway, T., Przeslawski, R. & Heap, A. (2009). *Review of ten key ecological features (KEFs) in the Northwest Marine Region. Geoscience Australia Record 2009/13*. Geoscience Australia, Canberra.
4. Gartner, J.W. (2004). Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California. *Marine Geology*, 211, pp. 169-187. doi:10.1016/j.margeo.2004.07.001.
5. Holloway, P.E. & Nye, H.C. (1985). Leeuwin Current and wind distributions on the southern part of the Australian North West Shelf between January 1982 and July 1983. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 36, pp. 123-137.
6. Langtry, S., Rayson, M., Makarynsky, O. et al. (2009). Optimal selection of sediment disposal sites in open coast locations. *Coasts and Ports in a Dynamic Environment*, 16-18 September. Wellington, New Zealand, 7p, CD-ROM.

7. Makarynskyy, O., Langtry, S., Zapata, M. et al. (2010). Validations of hydrodynamic, wave and dredging simulations in nearshore environments. In: Spaulding M.L. (ed.). *Estuarine and Coastal Modeling*. ASCE Publications, pp. 547-565.
8. Makarynskyy, O. & Makarynska, D. (2015). Monitoring ocean water parameters in a meso-tidal harbour: a recent example from Queensland. *Proceedings of the New South Wales Coastal Conference 2015*. Forster, NSW, 6p, USB.
9. Makarynska, D. & Makarynskyy, O. (2017). Hydrodynamic and sediment plume modelling in a macro-tidal estuary. *Coasts&Ports 2017*, 21-23 June. Cairns, Australia, 6p, USB.
10. Pearce, A., Hart, A., Murphy, D. et al. (2015). *Seasonal wind patterns around the Western Australian coastline and their application in fisheries analysis*. Fisheries Research Report No.266. Department of Fisheries, Western Australia.
11. Rayson, M., Langtry, S. & Makarynskyy, O. (2007). Methods for dredge modelling with the inclusion of sediment resuspension. *Proceedings of the II International Conference on Natural Environment-2007: Critical Problems of Ecology and Hydrometeorology; Merging of Education and Science*, 26-28 September. Odesa, Ukraine.

КОМПЛЕКСНИЙ МОРСЬКИЙ МОНІТОРИНГ БУРОВИХ СКИДІВ ПІД ДІЄЮ МЕЗОПРИПЛИВІВ

Олег Макаринський, Діна Макаринська

Metocean Dynamic Solutions, 9 Seale Street, Fannie Bay, 0820 NT, Australia,
makarynskyy@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0002-0505-5882>

На північно-західному шельфі австралійського континенту виконується ряд промислових проектів з розвідки і видобутку вуглеводнів. Цей шельф являє собою різноманітну і важливу морську екосистему з численними глобально значущими мілководними кораловими рифами і морськими охоронюваними районами, які мають життєво важливе значення для виживання видів, яким загрожує зникнення.

Деякі із згаданих розвідувальних і видобувних робіт, таких як морське буріння, можуть бути дозволені в межах кількох кілометрів від чутливих місць існування, які знаходяться поблизу району видобутку. У деяких випадках середовища існування можуть бути представлені зануреними екологічними системами з високим біорізноманіттям і, отже, високою екологічною / екосистемною цінністю через наявність бентосної біоти та/або рибних угруповань.

В межах програми екологічної оцінки наслідків промислової діяльності деякі оператори морських розвідувальних робіт вивчають вплив бурових скидів на морське середовище. У цьому дослідженні розглядаються такі оцінки. Для оцінки був концептуально розроблений новий комплексний підхід до морського моніторингу. Потім програма моніторингу була виконана в польових умовах з використанням обладнання, встановленого на дні, і підводного апарату з дистанційним управлінням зі змонтованими на ньому датчиками.

Дане дослідження присвячене аналізу вітрових умов в зоні проекту, рівня моря, течії, спостережень за температурою води, солоністю, каламутністю і інтенсивністю акустичного відлуння протягом декількох етапах бурових робіт, у той час як буровий шлам і буровий розчин скидалися в товщу води.

Спостереження за вітром в період осінніх місяців (квітень-травень) Південної півкулі показали переважання східно-південно-східних вітрів, що добре узгоджується із загальним розумінням вітрового режиму району. Важливо відзначити, що сильніший, ніж зазвичай, вітер може мати визначальний вплив на швидкості і напрям течій, які посилюються такими вітрами. У цих випадках забруднена скидами водна маса може наближатися до чутливого середовища існування, присутнього в цьому районі. Однак, наразі у динаміці вод в зоні проекту переважають півдобові припливи. Як вертикальна швидкість потоку, так і розподіл температури води вказували на наявність трьох шарів в товщі води над проектною ділянкою. Вертикальний розподіл солоності води був досить однорідним у всьому шарі води.

Моніторинг каламутності з використанням оптичного приладу та за допомогою інтенсивності акустичного відлуння-сигналу, отриманого за допомогою АДВТ (акустичного доплерівського вимірювача течії), показав, що відстеження шлейфів підвищеної каламутності за допомогою дистанційно керованого підводного обладнання є життєздатним методом, який може бути реалізований в інших місцях. Такі незалежні параметри, проте, потребують ретельного перехресного калібрування і взаємної валідації для повного розуміння результатів.

Ключові слова: континентальний шельф, буріння, шлами, бурові розчини, шлейф, каламутність, підводний апарат з дистанційним керуванням, розшарування товщі води, акустичний доплерівський вимірював течії, інтенсивність відлуння

КОМПЛЕКСНЫЙ МОРСКОЙ МОНИТОРИНГ БУРОВЫХ СБРОСОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МЕЗОПРИЛИВОВ

Олег Макаринский, Дина Макаринская

*Metocean Dynamic Solutions, 9 Seale Street, Fannie Bay, 0820 NT, Australia,
makarynsky@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0002-0505-5882>*

На северо-западном шельфе австралийского континента выполняется ряд промышленных проектов по разведке и добыче углеводородов. Этот шельф представляет собой разнообразную и важную морскую экосистему с многочисленными глобально значимыми мелководными коралловыми рифами и морскими охраняемыми районами, которые имеют жизненно важное значение для выживания видов, которым грозит исчезновение.

Некоторые виды упомянутых работ по разведке и добыче углеводородов, такие как морское бурение, могут быть разрешены в пределах нескольких километров от чувствительных к их воздействию мест обитания, расположенных вблизи района добычи. Места обитания в некоторых случаях могут быть представлены экосистемами мелководья с высоким биоразнообразием и, таким образом, высокой экологической / экосистемной ценностью из-за присутствия биоты бентоса и/или рыбных сообществ.

В рамках программы экологической оценки последствий промышленной деятельности некоторые операторы морских разведочных работ изучают влияние буровых сбросов на морскую среду. В этом исследовании рассматриваются такие оценки. Для оценки был концептуально разработан новый комплексный подход к морскому мониторингу. Затем программа мониторинга была выполнена в полевых условиях с использованием оборудования, установленного на дне, и подводного аппарата с дистанционным управлением с установленными на нем датчиками.

Данное исследование посвящено анализу ветровых условий в зоне проекта, уровня моря, течений, наблюдений за температурой воды, соленостью, мутностью и интенсивностью акустического эха на нескольких этапах буровых работ, в то время как буровой шлам и буровой раствор выбрасывались в толщу воды.

Наблюдения за ветром в период осенних месяцев (апрель-май) Южного полушария показали преобладание восточно-юго-восточных ветров, что хорошо согласуется с общим пониманием ветрового режима района. Важно отметить, что более сильный, чем обычно, ветер может оказывать определяющее влияние на скорости и направления течений, усиливая их. В этих случаях загрязненная сбросами водная масса может приближаться к чувствительной среде обитания в этом районе. Однако, как правило, в динамике вод в зоне проекта преобладают полусуточные приливы. Как вертикальная скорость потока, так и распределение температуры воды указывали на наличие трех слоев в толще воды над проектным участком. Вертикальное распределение солености воды было довольно однородным по всей толще воды.

Мониторинг мутности с использованием оптического прибора и интенсивности акустического эхо-сигнала при помощи АДТИ (акустического доплеровского измерителя течения) показал, что отслеживание шлейфов мутности с помощью подводного аппарата является жизнеспособным методом, который может быть реализован в других местах. Такие независимые параметры, тем не менее, нуждаются в тщательной перекрестной калибровке и взаимной валидации для полного понимания результатов.

Ключевые слова: континентальный шельф, бурение, шлами, буровые растворы, шлейф, мутность, подводный аппарат с дистанционным управлением, расслоение толщи воды, акустический доплеровский измеритель течений, интенсивность эха.

*Подання до редакції : 18. 04. 2019
Надходження остаточної версії : 24. 04. 2019
Публікація статті : 30. 05. 2019*

УДК 551.465:504.2(262.5)

ТЕНДЕНЦІЇ ДОВГОТЕРМІНОВИХ ЗМІН ПОЛІВ ТЕМПЕРАТУРИ, СОЛОНОСТІ ТА РІВНЯ ВОД В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ

М. А. Берлінський, Р. В. Гаврилюк, **О. О. Даниленко**

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,
nberlinsky@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>

Виконано аналіз мінливості гідрологічних характеристик в північно-західній частині Чорного моря для різних часових масштабів – багаторічних, сезонних і синоптичних. Використовувались традиційні методи географічних досліджень – порівняльно-географічний, ретроспективний і картографічний. В аналізі масивів даних з рівня моря і термохалінних характеристик використовувались математичні методи – статистичний, кореляційний і регресійний аналіз.

В результаті виконаних досліджень отримано кількісні оцінки тенденцій довготермінових змін термохалінних характеристик і рівня в північно-західній частині Чорного моря.

За період 1982-2005 рр. в північно-західній частині Чорного моря спостерігалось зростання температури води: в поверхневому шарі в зимовий період температура води підвищилась на 2°C, а придонному – більш, ніж на 3°C. В Одеському районі за період 1990-2005 рр. підвищення середньої річної температури води склало 1,2°C. Найбільш суттєве і статистично значуще підвищення температури відбувалось в літній гідрологічний сезон: середня літня температура підвищилась за цей період на 2,7°C. В перехідні сезони (восени та навесні) також спостерігалась тенденція підвищення температури, однак статистично значущий тренд відзначався лише в осінній період.

В багаторічних змінах солоності води спостерігався статистично значущий від'ємний тренд. За період 1990-2005 рр. середня річна солоність води знизилась на 1,36 ‰. Тенденція зниження солоності спостерігалась у всі сезони року, але ж статистично значущі тренди відзначались лише в зимовий і літній сезони. Встановлено тісний зв'язок багаторічних змін солоності води і стоку Дніпра.

На всіх станціях північно-західної частини Чорного моря спостерігалось підвищення рівня моря. За період 1947-2012 рр. середній річний рівень моря в районі Одеси підвищився на 14 см. Аналіз кліматичних змін характеру відгінно-нагінних коливань рівня моря показав, що повторюваність нагонів різної інтенсивності практично не змінилась, а в повторюваності відгонів відбулись суттєві зміни. За період 1980-2012 рр., в порівнянні з періодом 1947-1979 рр., повторюваність незначних відгонів (не більш 30 см) зросла, а значних (більш 30 см) і дуже значних (більш 50 см) – навпаки, знизилась приблизно на 5%-6%. Зміни характеру відгінно-нагінних коливань добре узгоджуються зі змінами напрямів і швидкості вітру над північно-західною частиною Чорного моря.

Ключові слова: північно-західна частина Чорного моря, часова мінливість температури, солоності і рівня моря, відгінно-нагінні коливання.

1. ВСТУП

Термохалінний режим Чорного моря в цілому формується в результаті складної взаємодії безперервно змінюваних великомасштабних та дрібномасштабних гідрометеорологічних процесів, що протікають за межами і всередині самого моря. Суттєву роль відіграють географічне положення і особливості морфометрії моря. Зовнішній та внутрішній волого-, тепло-, і сольовий обміни, що визначаються співвідношенням складових водного, теплового і сольового балансу, циркуляція повітряних і вод-

них мас створюють характерні особливості просторово-часової мінливості солоності і температури вод, і, в першу чергу, це стосується північно-західного шельфу (ПЗШ) Чорного моря. Цей район моря являє собою велику мілководну шельфову зону, гідрологічний і гідрохімічний режими якої формуються, в основному, під впливом річкового стоку Дунаю, Дніпра, Дністра та Південного Бугу. Головною особливістю усієї ПЗШ Чорного моря є короткочасна і сезонна мінливість гідрологічного стану, пов'язана з географічним положенням, морфометрією, клі-

матичними умовами, значним надходженням річкових вод та систематичним розвитком процесів відгону та нагону.

Аналіз інтенсивності сезонних змін гідрологічних полів та відгінно-нагінних процесів дозволяє виявити залежність від них тих антропогенних і природних факторів, які мають вплив на морську екосистему.

В науковій літературі доволі повно представлено характеристики мінливості різного часового масштабу термохалінних полів в північно-західній частині Чорного моря [1-4]. В той же час моніторинг гідрологічного і екологічного стану морських вод продовжується, і матеріали, отримані в результаті виконання океанографічних зйомок останніх років, можуть доповнити і уточнити характеристики мінливості. В статті представлені результати досліджень, які опубліковані в літературних джерелах попередніх років, так й власних досліджень авторів, виконаних в останній час.

Мета роботи полягає в комплексному аналізі тенденцій довготермінових змін термохалінних характеристик і рівня моря в північно-західній частині Чорного моря.

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Кліматичні характеристики полів солоності і температури води, отримані за даними гідрологічних спостережень за період 1903-1982 рр., представлені в роботі [1]. Їх можна використовувати як порівняльну базу, так, як вже відзначалося в багатьох дослідженнях, період інтенсивного підвищення приземної температури і відповідних кліматичних змін почався з кінця 80-х років ХХ століття. Зміни режимних характеристик термохалінних полів, що відбулися за останні три десятиліття [2-4], дозволяють оцінити масштаби і тенденції кліматичних збурень в полях температури і солоності води північно-західного шельфу (ПЗШ).

Використовувались спостереження за рівнем моря на станціях Одеса (1947-2012 рр.), Чорноморськ (1986-2013 рр.), Южний (1986-2011 рр.), Цареградське гирло (1975-2010 рр.). Данні до 1990 року опубліковані в [5], а за останні роки ряди доповнювались спостереженнями з таблиць ТГМ. Для аналізу багаторічної та сезонної мінливості рівня моря використовувались його середньомісячні значення, а мінливості відгінно-нагінних коливань – екстремальні (максимальні та мінімальні) строкові значення рівня.

Найбільш тривалий ряд спостережень є для станції Одеса – довжина ряду складає 66 років. Цей ряд був розбитий на два періоди – 1947-

1979 рр. та 1980-2012 рр. тривалістю 33 роки. За рекомендаціями Всесвітньої Метеорологічної Організації для оцінки кліматичних змін гідрометеорологічних характеристик ряд спостережень повинен бути не менш 30 років. Таким чином, за даними спостережень на станції Одеса виконано аналіз кліматичних змін міжрічних, сезонних та відгінно-нагінних коливань рівня. На інших станціях тривалість рядів спостережень є такою: станція Цареградське гирло – 36 років, станція Чорноморськ – 28 років, станція Южний – 26 років. Тривалість рядів спостережень є достатньою для оцінки мінливості рівня різного часового масштабу.

Для отримання кількісних характеристик мінливості використовувались традиційні математичні методи обробки інформації – статистичний, кореляційний, регресійний аналіз.

3. АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Поле температури. Водну товщу Чорного моря, за характером сталих у багаторічному плані просторових неоднорідностей і наявності сезонних коливань в полі температури, можливо умовно поділити на три шари. Найбільш мінливим є діяльний шар, в якому спостерігаються сталі вертикальні, горизонтальні і сезонні зміни поля температури. За його нижню границю орієнтовно приймають горизонт 200 м, де розмах сезонних коливань, пов'язаних з річним циклом потоків тепла через поверхню, зменшується більше ніж у сто разів у порівнянні з розмахом на поверхні.

Діяльний шар Чорного моря за механізмом зміни тепловмісту вод, в свою чергу, можна поділити на два шари. Перший – з переважно вертикальним обміном тепла, включає в себе верхній квазіоднорідний шар (ВКШ) і шар сезонного термокліну. Другий – холодний проміжний шар (ХПШ), зміна тепловмісту якого (принаймні в зимовий сезон) відбувається, головним чином, за рахунок горизонтальної адвекції вод, що ізопікнічно розповсюджуються у верхніх шарах постійного халокліну.

В цілому Чорне море відносно тепле. Середня річна температура верхнього десятиметрового шару близька до 14,7 °С. Однак північні райони моря в зимовий сезон зазнають значного охолодження, що призводить до замерзання вод.

Характерною особливістю поля температури в верхніх шарах моря є сезонна сталість мінімуму температури в північно-західній частині моря і максимуму – в південно-східній. На нульовому горизонті найменша температура води від-

мічається в середньому в лютому (від 2 °C до 9,5 °C), а найбільша – в серпні (від 21 °C до 25 °C).

Для прибережних районів моря характерні різкі внутрішньодобові коливання температури води, викликані відгінно-нагінними явищами. Найбільш помітні ці явища в теплі періоди року, коли вертикальні градієнти температури води максимальні і термоклін розташований на невеликій глибині. Відгінно – нагінна циркуляція не обмежується вузькою прибережною смугою, вона є невід'ємною частиною переважаючих в Чорному морі вітрових течій і приймає участь в перерозподілі водних мас по глибині і акваторії моря, обумовлюючи обмін поверхневих і глибинних прибережних вод з водами центральних частин моря [6].

У діяльному шарі Чорного моря чітко відстежуються закономірності внутрішньорічної мінливості. Наприкінці зими в шарі 0-50 м встановлюється відносна гомотермія.

Весняне підвищення температури в західній частині моря спостерігається вже в березні. До середини квітня процеси формування сезонного термокліну охоплюють усе море, і до травня вертикальні градієнти температури в поверхневих шарах перевищують 0,5 °C·м⁻¹. Максимум травневої температури води (15-16 °C) співпадає з основними осередками опріснення. Весняний термоклін, що примикає до поверхні моря, легко руйнується вітровим перемішуванням, що обумовлює велику мінливість весняного поля температури, яке може суттєво відрізнятися від кліматичного.

У мірі прогріву вод просторова мінливість температури поверхневого шару зменшується. Уже в червні вона становить 2 °C. Положення мінімумів температури влітку відповідає районам з найбільшою повторюваністю відгінних синоптичних ситуацій, які викликають прибережні апвелінги.

Осіннє вихолоджування вод моря починається у вересні. До листопада температура поверхневого шару падає порівняно з серпнем в середньому на 10 °C. Глибина осінньо-зимового перемішування обмежується сталою халінною структурою вод. Термічне згущення при зимовому охолодженні невелике. Влітку внесок термічної компоненти в густину стратифікацію верхньої чорноморської водної маси значно перевищує внесок сольової.

Сезонний термоклін стає визначаючим елементом структури вод на глибинах 20-30 м. В зимовий період середнє багаторічне поле температури води на горизонті 20 м однотипне з пове-

рхневим. У мірі прогріву сформований термоклін починає заглиблюватися. Добре просліджується фазове запізнення досягнення річного максимуму температури, пропорційне глибині горизонту. Поблизу берегів шар стрибка температури має більшу товщину і заглиблення, ніж у відкритому морі. В кліматичному плані осереднені найбільші градієнти в термокліні відмічаються в середньому по морю на глибині 20 м і становлять – 0,25 °C·м⁻¹. Однак нестабільність положення сезонного термокліну створює значні горизонтальні градієнти температури води на горизонті 20 м і суттєві відмінності конкретних розподілів від середнього багаторічного.

Інтенсивність вертикального турбулентного обміну теплом швидко зменшується з глибиною. У весняно – літній період цей процес блокується в сезонному термокліні. В осінньо-зимовий – розповсюджується приблизно до глибин 50 м. Тому в холодний період року розподіл температури на горизонті 50 м подібний тому, який є у верхніх шарах. В теплий період року неоднорідність поля температури на цьому горизонті зменшується, і значення температури води в серпні становлять в основному 7,5-8 °C. Суттєва перебудова поля температури починається восени, коли сезонний термоклін поглиблюється в результаті вітрового перемішування. Інтенсивність вертикального турбулентного обміну значно вище на периферії моря і тому на горизонті 50 м прибережні води прогриваються до 10 °C. Максимальний розмах сезонних коливань температури на поверхні приходить на захід північно-західної частини моря і становить 3,4 °C.

Аналіз тенденцій кліматичних змін температури вод північно-західного шельфу (ПЗШ) показує, що в основному вони стосуються зимового сезону. В західній частині ПЗШ у поверхневому шарі середня температура підвищилася в зимовий період на два градуси, а в придонному – більше ніж на 3 °C за період 1962-2002 рр. [4].

Багаторічна мінливість температури води в Одеському районі за даними ГМС «Одеса-порт» в період 1962-2002 рр. розглянута в роботі [7]. Кліматична норма середньої річної температури води в поверхневому шарі складала 11,0 °C, при зимовій нормі 1,9 °C і літній 19,8 °C. За період 1990-2005 років середня річна температура поверхневого шару води становила 11,5 °C, температура зимового сезону 2,7 °C, літнього 20,2 °C.

Найбільш холодними були 1993, 1997 і 2003 роки, із середньорічною температурою води відповідно 9,4; 10,0 і 10,4 °C. Високі значення температури води (12,0; 12,8; 12,7; і 12,9 °C) припадають відповідно на 1994, 1999, 2001 і

2002 роки.

Середній багаторічний розмах внутрішньорічних коливань температури води склав $20,4^{\circ}\text{C}$, при відзначеному максимумі $22,7^{\circ}\text{C}$ у 1999 році і мінімумі $16,1^{\circ}\text{C}$ – у 1990 році. За період 1990-2005 рр. у міжрічному ході спостерігається значущий тренд зростання температури води. У цілому за цей період середня річна температура води підвищилася на $1,2^{\circ}\text{C}$, від $10,8^{\circ}\text{C}$ – на початку періоду до $12,0^{\circ}\text{C}$ – наприкінці.

У багаторічному ході температури води зимового гідрологічного сезону виділяється одна явно виражена хвиля з періодом 7 років. Мінімуми температури води ($0,1^{\circ}\text{C}$ і $0,5^{\circ}\text{C}$) відзначались в 1996 і 2003 роках відповідно. Найбільш теплими в ряді міжрічної мінливості температури води зимового гідрологічного сезону були 1990 і 2001 роки ($4,1^{\circ}\text{C}$ і $4,2^{\circ}\text{C}$), відповідно. Розмах коливань середньої місячної температури води в зимовий сезон у середньому склав $2,3^{\circ}\text{C}$, при максимумі $5,2^{\circ}\text{C}$ (2002 р.) і мінімумі $0,2^{\circ}\text{C}$ (1993 р.). Статистично значущий тренд в ході зимової температури води за розглянутий період не спостерігався.

Найбільш виражений і статистично значущий тренд підвищення температури води спостерігався в літній гідрологічний сезон. Середня літня температура води за цей період підвищилася на $2,7^{\circ}\text{C}$ (від $18,8$ до $21,5^{\circ}\text{C}$).

У міжрічному ході літньої температури води виявляються цикли з періодом 3 і 5 років. Максимуми припадають на 1992, 1994, 1999 і 2001 роки з температурою води відповідно $20,5$; $21,9$; $22,0$; і $23,5^{\circ}\text{C}$. Найбільш холодними в ряді міжрічної мінливості температури води літнього гідрологічного сезону були 1993, 1998 і 2003 роки ($16,7$; $18,6$; і $18,4^{\circ}\text{C}$, відповідно). Розмах коливань середньої місячної температури води влітку в середньому складав $3,6^{\circ}\text{C}$, при максимумі $6,2^{\circ}\text{C}$ (1991 р.) і мінімумі $0,8^{\circ}\text{C}$ (1994 р.).

У перехідні сезони (навесні і восени) також відзначена тенденція підвищення температури води, однак статистично значущий тренд відповідає тільки осінньому періоду.

У середньому розмах змін середньої місячної температури води весняного гідрологічного сезону складає $8,9^{\circ}\text{C}$, а осіннього $10,0^{\circ}\text{C}$. Інтенсивне прогрівання поверхневих вод навесні спостерігалось в 1999 році ($11,9^{\circ}\text{C}$), а інтенсивне вихолоджування – восени 2001 року ($13,6^{\circ}\text{C}$). Найбільш стабільні умови весняного гідрологічного періоду в режимі температури води відзначені в 2000 році (розмах $5,5^{\circ}\text{C}$), а осіннього – у 1996 році (розмах $6,6^{\circ}\text{C}$). У багаторічному ході температури води весняного сезону виявляються

коливання з періодом 4 роки. В осінньому сезоні виділяються два дворічних і один п'ятирічний цикли.

Слід зазначити, що підвищення температури води весняно-осіннього сезонів обумовлено як умовами радіаційного режиму, так і іншими факторами. Поряд з радіаційним режимом, значно впливає на температуру поверхні моря режим вітру, а також прісний стік річок. При підвищеному стоці річок, за рахунок великих вертикальних градієнтів солоності, підвищується стійкість поверхневого шару води, в результаті чого вертикальний обмін ослаблений, і теплонакопичення відбувається у більш тонкому шарі. Це сприяє зростанню температури поверхневого шару води. В умовах зниженого стоку річок сталість поверхневого шару вод зменшується, і тепло в результаті турбулентного обміну поширюється в більш глибокі шари. При цьому температура поверхні води за рівних умов радіаційного і вітрового режимів знижується. Це підтверджується наявністю від'ємної кореляції між середніми річними значеннями температури і солоності води.

В період 1990-2005 років коефіцієнт кореляції температури і солоності води склав мінус $0,67$ (при 95 % довірчому рівні значущості $0,5$). За більш тривалий період 1950-2005 рр. коефіцієнт кореляції складав мінус $0,34$ (при 95 % довірчому рівні значущості $0,25$) [2].

Таким чином, можна констатувати, що у період 1990-2005 рр. спостерігалася тенденція до підвищення температури поверхневого шару води (статистично значуща в літньо-осінній період). У цілому ж за весь період наявних даних спостережень на ГМС «Одеса-порт» (1950-2005 рр.) температура поверхневих вод підвищилася на $0,5^{\circ}\text{C}$ [7].

Поле солоності. Аналіз поля солоності в північно-західній частині Чорного моря в останні три десятиліття показав, що багаторічні зміни середньої зимової солоності вод ПЗШ мають достатньо означені тренди, які вказують на її зниження в кліматичному плані. В якійсь мірі це обумовлено значним зростанням кількості пізніх осінніх і, особливо, зимових водопіль. В 1990-2011 рр. спостерігалось вісім (2 пізніх осінніх і 6 зимових) водопіль, в той час як за 1947-1989 рр. їх було тільки чотири.

Кліматична норма середньої річної солоності за період 1948-2002 рр. за даними ГМС «Одеса-порт» дорівнює $14,67\text{ ‰}$ [2] із мінімумом навесні ($12,96\text{ ‰}$) і максимумом $15,74\text{ ‰}$ (у літній гідрологічний сезон) (табл. 1).

Таблиця 1 – Середня місячна солоність поверхневих вод за даними ГМС «Одеса-порт», ‰, за період 1948 - 2002 рр.

Солоність, ‰	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	15,05	14,43	13,90	13,09	12,96	14,25	15,74	15,74	15,72	15,27	14,80	15,07

У період 1990-2005 років середня річна солоність поверхневого шару води ПЗШ трохи знизилася і склала 14,63 ‰, (13,66 ‰ у весняний гідрологічний період і 15,39 ‰ – у літній).

На режим солоності поверхневого шару вод ПЗШ значно впливає прісний стік річок.

Між стоком р. Дніпро і середньою річною солоністю на ГМС «Одеса-порт» за даними спостережень за період 1948-1982 рр. виявлено зв'язок з коефіцієнтом кореляції мінус 0,75.

Аналогічна оцінка кореляції, яка була отримана за даними спостережень у 1950-2005 роках, показала, що значення коефіцієнту кореляції не змінилося і склало мінус 0,75. За період 1990-2005 рр. коефіцієнт кореляції склав мінус 0,86 при 95 % довірчому рівні значущості 0,5 [2]. У міжрічному ході середньорічних витрат води за період 1990-2005 рр. відзначається тенденція збільшення витрат води з $1196,8 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ (1990 р.) до $1411,3 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ (2005 р.). Однак характеристика тренда не перевищує 95 % рівня значущості, оціненого за F-критерієм Фішера. Вірогідно значущих трендів не спостерігається й у багаторічній мінливості середніх сезонних витрат Дніпра. В осінній гідрологічний сезон, на відміну від зимово-літнього періоду з тенденцією до підвищення витрат, відзначається слабка не значуща тенденція до їхнього зменшення.

У ході середньої річної солоності води за період 1990-2005 рр. виділяються коливання з періодом 3, 5 і 6 років. Найбільш високий солевміст поверхневих вод спостерігався в 1993, 1997 і 2003 роках, із середньою річною солоністю води відповідно 16,05; 16,08 і 15,41 ‰. Низькі значення солоності води (14,37; 13,73; 12,67 і 13,51 ‰) припадають відповідно на 1991, 1994, 1999 і 2005 роки. Середній багаторічний розмах внутрішньорічних коливань солоності води склав 4,82 ‰, при відзначеному максимумі 9,11 ‰ у 1998 році і мінімумі 2,95 ‰ у 1990 р.

В цілому по гідрологічних сезонах найбільший розмах у змінах солоності води спостерігався навесні (2,72 ‰) при повеневому стоці річки Дніпро. Екстремальні значення середньої місячної солоності води спостерігалися в квітні 1999 року – 8,04 ‰ (мінімум) і в березні 1997 року – 18,75 ‰ (максимум).

За період 1990-2005 рр. у міжрічному ході середньої солоності води спостерігався значущий тренд зниження солевмісту. В цілому за розглянутий період середня річна солоність води знизилася на 1,36 ‰ – від 15,34 ‰ у 1990 р. до 13,98 ‰ – у 2005 р.

Достовірні тренди середніх сезонних значень солоності спостерігалися в зимовий і літній гідрологічні сезони року. Зміни весняних і осінніх значень солоності води не перевищували 95 % рівня значущості. Однак багаторічна тенденція до зниження солоності відзначалася й у ці сезони.

Особливістю багаторічного ходу солоності в літні сезони є кліматичне підвищення її в західній частині. Слід відзначити, що в період 1986-1995 рр. мінімум солоності поверхневих вод в районі острова Зміїний спостерігався на рівні 4 ‰, що пояснюється надходженням слабо трансформованих дунайських вод. За період 1996-2005 рр. мінімальна солоність мала величину 11,50 ‰, але за декаду 1986-1995 рр. 25 разів спостерігалася солоність нижче 11,40 ‰.

У цілому можна констатувати, що спостерігалася тенденція до збільшення стоку Дніпра і зниження солоності в Дніпро-Бузькому районі (переважно в зимові і літні сезони року) в період 1990-2005 рр.

Рівень. За даними спостережень за середньомісячними значеннями рівня на різних станціях виконано розрахунки середнього багаторічного значення рівня моря за всі місяці року та за рік. Для порівняння в таблиці 2 наведено середньомісячні та середні за рік значення рівня всього Чорного моря за два кліматичні періоди з роботи [8].

Згідно з дослідженням [8], середній багаторічний рівень Чорного моря за період 1976-2005 рр. дорівнює 480 см.

На всіх станціях північно-західної частини моря рівень вище середнього рівня всього моря. Найбільші позитивні відхилення спостерігаються на станції Цареградське гирло – 14 см, на інших станціях відхилення складають 7-9 см [9]. Перевищення рівня моря на станціях північно-західної частини в порівнянні з усім морем обу-

Таблиця 2 – Рівень Чорного моря за різні кліматичні періоди [8], см

Період	Місяць												За рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1946-1975 рр.	473	474	476	478	480	483	481	476	469	464	464	468	474
1976-2005 рр.	479	479	479	482	487	487	484	480	476	473	473	477	480

мовлено природними факторами – річковим стоком, стеричними ефектами, характером відгінно-нагінних коливань.

Середні багаторічні значення рівня моря на станціях Одеса, Чорноморськ та Южний приблизно співпадають, а на станції Цареградське гирло рівень моря приблизно на 15 см вище, що можна пояснити впливом стоку р. Дністер. Міжрічна мінливість середнього за рік рівня характеризується розмахом коливань. На станціях Южний, Чорноморськ та Цареградське гирло розмах коливань складає 36-37 см, а на станції Одеса – 23 см.

Мінімальні абсолютні річні значення рівня на різних станціях спостерігаються в різні роки. Максимальні абсолютні річні значення рівня на всіх станціях припадають на 2010 рік. Це підтверджує результати роботи [9], що рівень Чорного моря в цьому році досягнув свого абсолютного максимуму за всю 150-річну історію спостережень. Якщо порівняти розмах міжрічних коливань за різні кліматичні періоди на станції Одеса, то можна зазначити, що за останні 33 роки розмах коливань середнього річного рівня моря знизився з 33 см до 23 см, тобто на 30 %.

Взаємозв'язки міжрічних коливань середнього річного рівня на різних станціях за період 1986-2012 рр. наведено в таблиці 3. Як видно з таблиці, міжрічні коливання рівня моря за середніми річними даними на станціях Южний, Чорноморськ та Цареградське гирло практично синфазні. Коефіцієнти кореляції є близькими до 0,9, а при осередненні ковзним середнім по 5-ти рокам зростають практично до 1.

Коливання середніх річних значень рівня моря на станції Одеса статистично слабо пов'язані з міжрічними коливаннями на інших станціях. При осередненні по 5-ти рокам виявляються статистично значущі від'ємні коефіцієнти кореляції, які свідчать про протилежний характер коливань.

В роботі [10] наведені результати аналізу декадної мінливості середнього річного рівня на станціях західної частини моря. Показано, що на тлі загального підвищення рівня в десятирічних трендах спостерігаються періоди поперемінного

зростання або зниження рівня. Зокрема, за період 1980-2000 рр. на станції Одеса в десятирічних коливаннях середнього річного рівня спостерігається від'ємний тренд. Винятковість станції Одеса можливо пов'язана з вертикальними рухами суші [11].

Таблиця 3 – Коефіцієнти кореляції між парами станцій середніх річних значень рівня моря (нижче діагоналі), та при осередненні ковзним середнім по 5-ти рокам (вище діагоналі)

Станція	Станція			
	Одеса	Чорноморськ	Южний	Цареградське гирло
Одеса	1	-0,566*	-0,606*	-0,555*
Чорноморськ	0,178	1	0,966*	0,993*
Южний	0,342	0,864*	1	0,993*
Цареградське гирло	0,381	0,948*	0,889*	1

Примітка: * – кореляція значуща на рівні 0,01

В роботі [10] наведені результати аналізу декадної мінливості середнього річного рівня на станціях західної частини моря. Показано, що на тлі загального підвищення рівня в десятирічних трендах спостерігаються періоди поперемінного зростання або зниження рівня. Зокрема, за період 1980-2000 рр. на станції Одеса в десятирічних коливаннях середнього річного рівня спостерігається від'ємний тренд. Винятковість станції Одеса можливо пов'язана з вертикальними рухами суші [11].

Виконувався також аналіз лінійних трендів рядів середніх річних значень рівня моря на різних станціях. В таблиці 4 наведено характеристики лінійних трендів – кутові коефіцієнти, коефіцієнти детермінації, величини загальної зміни рівня та внесок тренду в загальну дисперсію ряду. Як видно з таблиці 4, найбільш суттєві зростання середнього річного рівня спостерігаються на станціях Южний та Чорноморськ, і дорівнюють близько 20 см. На станції Цареград-

Таблиця 4 – Характеристики лінійних трендів в коливаннях середніх річних значень рівня в північно-західній частині Чорного моря

Характеристика	Станція, період					
	Одеса 1947- 979 рр.	Одеса 1980-2012 рр.	Одеса 1947-2012 рр.	Южний 1986-2011 рр.	Чорноморськ 1986-2013 рр.	Цар.Гирло 1986-2010 рр.
a (см·рік ⁻¹)	0,30	-0,08	0,21	0,79	0,70	0,64
R ²	0,20	0,02	0,30*	0,56*	0,47*	0,39*
Δ (см)	10,9	-2,6	13,9	20,5	19,6	16,0
в (%)	11,1	10,0	26,7	23,2	27,8	28,6

Примітка: а – кутовий коефіцієнт тренду (см·рік⁻¹), R² – коефіцієнт детермінації, Δ – зміна рівня, см, в – внесок тренду в загальну дисперсію ряду (%), * – значущі тренди на рівні 0,01.

ське гирло за той же період підвищення рівня склало 16 см. Внески лінійних трендів в загальну дисперсію рядів дорівнюють 23-28 %, що підтверджує значущість тренду. На станції Одеса найбільш суттєві зростання рівня спостерігались за період 1947-1979 рр., а за період 1980-2012 рр. рівень моря відчував хвилові коливання зі слабким від'ємним трендом. Підвищення рівня за 66-річний період (1947-2012 рр.) склало 14 см.

Відгінно-нагінні коливання рівня в північно-західній частині Чорного моря. Основними факторами, які визначають режим коливань рівня в синоптичному діапазоні частот є вітер та атмосферний тиск. При цьому вітру належить вирішальна роль, а коливання рівня проявляються в вигляді відгінно-нагінних коливань. Їх розвиток визначається співвідношеннями напрямів діючого вітру та конфігурації берегової смуги. З цієї причини розмах відгінно-нагінних коливань рівня на різних станціях, навіть близько розташованих одна від одною, може суттєво відрізнятися.

Визначення показників штормової активності в останні роки привертає увагу багатьох вчених, зокрема в зв'язку зі змінами клімату в Чорному морі. Для північно-західної частини моря такі дослідження не виконувались. В той же час в цьому районі розташовані найважливіші морські порти і вплив відгінно-нагінних коливань рівня на їх роботу а також на екосистему регіону є суттєвим.

Аналіз значних відгінно-нагінних коливань рівня (відхилення більш за 30 см) показує, що повторюваність відгонів на всіх станціях вища за повторюваність нагонів – перевищення складає 7-10 %, за виключенням станції Цареградське гирло, де воно досягає лише 1.5 %. Повторюваність значних нагонів за два кліматичних періоди на станції Одеса практично не змінилась, а

повторюваність аналогічних відгонів знизилась з 51 % до 45 %. Зниження повторюваності значних відгонів в останні роки добре узгоджується зі зниженням середньої швидкості вітру над Чорним морем [12].

Для дуже значних відгінно-нагінних коливань рівня (відхилення більш за 50 см) повторюваність відгонів також є вищою за повторюваність нагонів, крім станції Цареградське гирло, де ці величини приблизно однакові. Перевищення повторюваності відгонів над нагонами є найбільшим для станції Южний – 6.73 % та 0.96 %, відповідно. Для станції Одеса за останній кліматичний період повторюваність дуже значних відгонів зменшилась з 13.64 % до 8.08 %, але ж є найбільшою величиною для всіх станцій північно-західної частини Чорного моря, що підтверджує відомості з літературних джерел про найбільш інтенсивні відгони на станції Одеса.

Небезпечні відгони на станції Одеса обумовлені діями вітру північного, північно-західного та північно-східного напрямів. Згідно з роботою [12] за даними спостережень на станції Одеса за період 1945-2011 рр. в багаторічній мінливості сумарної повторюваності швидкості вітру північного та північно-східного напрямів спостерігаються значущі, на рівні не нижче 95 %, від'ємні тренди, а північно-західний вітер має не значущий позитивний тренд.

Таким чином, зниження повторюваності небезпечних відгонів викликано зменшенням потужності північного та північно-східного вітрів за досліджуваний період. В зниження інтенсивності відгінно-нагінних коливань в північно-західній частині Чорного моря більш суттєвий вклад вносить зростання мінімального рівня, тобто зменшення розмаху відгонів.

4. ВИСНОВКИ

В результаті виконаних досліджень отримано кількісні оцінки тенденцій довготермінових змін термохалінних характеристик і рівня в північно-західній частині Чорного моря.

Найбільш виражений і статистично значущий тренд підвищення температури води в Одеському районі спостерігався в літній гідрологічний сезон. Середня літня температура води за цей період підвищилася на 2,7 °C (від 18,8 до 21,5 °C).

У перехідні сезони (навесні і восени) також відзначена тенденція підвищення температури води, однак статистично значущий тренд відповідає тільки осінньому періоду.

Багаторічні зміни середньої зимової солоності вод ПЗШ мають достатньо означені тренди, які вказують на її зниження на кліматичному масштабі.

На режим солоності поверхневого шару вод ПЗШ значно впливає прісний стік річок. Оцінка кореляції між стоком р. Дніпро і середньою річною солоністю на ГМС «Одеса-порт» показала, що значення коефіцієнту кореляції отриманого за період 1990-2005 рр. зросло, порівняно аналогічними оцінками за періоди 1948-1982 рр. і 1950-2005 рр., з мінус 0,75 до мінус 0,86 (при 95 % довірчому рівні значущості 0,5).

За період 1990-2005 рр. у міжрічному ході середньої солоності води спостерігався значущий тренд зниження солевмісту. В цілому за розглянутий період середня річна солоність води знизилася на 1,36 ‰ – від 15,34 ‰ у 1990 р. до 13,98 ‰ – у 2005 р.

Достовірні тренди середніх сезонних значень солоності спостерігалися в зимовий і літній гідрологічні сезони року. Зміни весняних і осінніх значень солоності води не перевищували 95 % рівня значущості. Однак багаторічна тенденція до зниження солоності відзначалася й у ці сезони.

Особливістю багаторічного ходу солоності в літні сезони є кліматичне підвищення її в західній частині ПЗШ.

В період 1990-2005 рр. в цілому спостерігалася тенденція до збільшення стоку Дніпра і зниження солоності в Дніпро-Бузькому (Одеському) районі (переважно в зимові і літні сезони року).

На всіх станціях північно-західної частини

середній багаторічний рівень моря на 7-14 см вищий, ніж середній багаторічний рівень всього Чорного моря, що обумовлено природними факторами – річковим стоком, стеричними ефектами, динамікою вод, відгінно-нагінними коливаннями.

На станції Одеса за період 1947-1979 рр. підвищення рівня склало 11 см, а в період 1980-2012 рр. рівень моря відчував хвилюві коливання зі слабким від'ємним трендом. За весь досліджуваний період (1947-2012 рр.) рівень моря в Одесі підвищився на 14 см, що узгоджується з аналогічними оцінками для всього Чорного моря. Відмінність міжрічних коливань рівня на станції Одеса від інших станцій пояснюється вертикальними рухами суши.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Альтман Э. Н., Гертман И. Ф., Голубева З. А. Климатические поля солености и температуры воды Черного моря. Севастополь : СО ГОИН, 1987. 109 с.
2. Гідрологічні та гідрохімічні показники стану північно-західного шельфу Чорного моря : довідковий посібник / за ред. І. Д. Лоевої, І. Г. Орлової, М. Ю. Павленко, В. В. Українського та ін. Київ : КНТ, 2008. 616 с.
3. Попов Ю. І., Рубан І. Г. Поля солоності північно-західної частини Чорного моря (1955–2005 рр.): довідковий посібник. Одеса : ТЕС, 2015. 116 с.
4. Изменчивость климатических характеристик морских вод в северо-западной части Черного моря / Матыгин А. С., Сытов В. Н., Попов Ю. И. и др. *Вестник Гидрометеоцентра Черного и Азовского морей*. 2013. № 2(16). С. 97-105.
5. Каталог наблюдений над уровнем Черного и Азовского морей. Государственный комитет по гидрометеорологии / Государственный океанографический институт, Севастопольское отделение. Севастополь, 1990. 269 с.
6. Богданова А. К. Сгонно-нагонная циркуляция и термический режим Черного моря. *Труды Севастопольской биологической станции*. 1959. Т. XI. С. 262-283.
7. Андрианова О. Р., Белевич Р. Р., Скипа М. И. Об особенностях изменчивости основных климатических Одессы в XX столетии. *Морской гидрофизический журнал*. 2005. № 4. С. 19-29.
8. Горячкин Ю. Н., Иванов В. А. Уровень Черного моря : прошлое, настоящее и будущее: монография / под ред. В. Н. Еремеева. Севастополь : МГИ НАН Украины, 2006. 210 с.
9. Гаврилюк Р. В., Корнилов С. В. Изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2016. Вип. 20. С. 69-77.

10. Горячкин Ю. Н. Изменчивость уровня Черного моря: автореф. дис... докт. геогр. наук / МГИ НАН Украины. Севастополь, 2012. 38 с.
11. Андрианова О. Р., Буров А. М., Скипа М. И. Особенности декадной изменчивости среднемесячных и экстремальных высот уровня в западной части Черного моря. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2010. Вып. 23. С. 40-46.
12. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2 : Черное море / Ильин Ю. П., Репетин Л. Н., Белокопытов В. Н. и др. Севастополь, 2012. 420 с.
6. *Seas. State Committee on Hydrometeorology*. Sevastopol. (in Russ.)
7. Bogdanova, A.K. (1959). Sgonno-nagonnaya tsirkulyatsiya i termicheskiy rezhim Chernogo morya [Surge circulation and thermal regime of the Black Sea]. *Trudy Sevastopol'skoy biologicheskoy stantsii [Works of Sevastopol Biological Station]*, XI, pp. 262-283. (in Russ.)
8. Andrianova, O.R., Belevich, R.R. & Skipa, M.I. (2005). Ob osobennostyakh izmenchivosti osnovnykh klimaticheskikh kharakteristik Odessy v XX stoletii [On the peculiarities of the variability of the main climatic characteristics of Odessa in the twentieth century]. *Morskoy gidrofizicheskii zhurnal [Marine Hydrophysical Journal]*, 4. pp. 19-29. (in Russ.)
9. Goryachkin, Yu.N. & Ivanov, V.A. (2016). *Uroven' Chernogo morya: proshloe, nastoyashchee i budushchee [Black Sea level: past, present and future]*. Edited by V.N. Ereemeev. Sevastopol: Marine Hydrophysical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine. (in Russ.)
10. Gavriluk, R.V. & Kornilov, S.V. (2016). Izmenchivost' urovnya v severo-zapadnoy chasti Chernogo morya [Variability of the level in the northwestern part of the Black Sea]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 20. pp. 69-77. (in Russ.)
11. Goryachkin, Ju.N. (2012). *Izmenchivost' urovnia Chernogo morya [Variability of the Black Sea level]*. Abstract of Dr. Sc. in Geography. Marine Hydrophysical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine. Sevastopol. (in Russ.)
12. Andrianova, O.R., Burov, A.M. & Skipa, M.I. (2010). Osobennosti dekadnoy izmenchivosti srednemesyachnykh i ekstremal'nykh vysot urovnya v zapadnoy chasti Chernogo morya [Features of the ten-day variability of monthly and extreme altitudes of the level in the western part of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shelfovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa [Ecological safety of the coastal and offshore zones and the integrated use of shelf resources]*, 23, pp. 40-46. (in Russian)
13. Il'in, Yu.P. et al. (2012). *Gidrometeorologicheskie usloviya morey Ukrainy [Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine]*. Vol. 2: Chornoe more [Black Sea]. Sevastopol. (in Russ.)

REFERENCES

TENDENCIES OF LONG-TERM CHANGES OF TEMPERATURE FIELDS, SALINITY AND WATER LEVEL OF THE NORTH-WESTERN PART OF THE BLACK SEA

N. Berlinsky, R. Gavriluk,
O. Danilenko

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine,
nberlinsky@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>

The paper analyzes the variability of hydrological characteristics of the North-Western part of the Black for different temporal scales: long-term, seasonal and synoptic. The traditional methods

of geographic investigations, such as comparative-geographic, retrospective and cartographic methods, were used. When analyzing sea level data packages and thermohaline characteristics mathematical methods, including statistical, correlation and regression analysis, were used.

As a result of the conducted research quantitative estimates of tendencies of long-term changes of the thermohaline characteristics and level in the North-Western part of the Black Sea were received.

Over the period of 1982-2005 an increase of water temperature in the North-Western part of the Black Sea was observed: in winter water temperature in the surface layer increased by 2°C, in the bottom layer – by more than 2°C. Over the period of 1990-2005 an increase of an average annual water temperature in Odesa area constituted 1,2°C. The most considerable and statistically significant temperature increase took place during the summer hydrological season: an average summer temperature increased during this period by 2,7°C. During transitional seasons (autumn and spring) there was also a tendency of temperature increase, however, statistically significant trend was observed only during the autumn period.

There is a statistically significant negative trend observed for long-term changes of salinity. For the period of 1990-2005 an average annual salinity decreased by 1.36 ‰. A tendency of salinity decrease was observed for all seasons of the year, however, statistically significant trends are observed only in winter and summer. A close relationship between long-term changes in water salinity and runoff of the Dnieper River was also established.

A sea level rise is observed at all stations of the North-Western part of the Black Sea. Over the period of 1947-2012 an average annual sea level in Odesa increased by 14 cm. An analysis of climatic changes of wind-induced sea level fluctuations showed that the frequency of surges of varying intensity remained almost unchanged, however, the frequency of sweeps changed significantly. Over the period of 1980-2012, as opposed to the period of 1947-1979, the frequency of minor sweeps (no more than 30 cm) increased, and the frequency of significant (more than 30 cm) and very significant (more than 50 cm) sweeps, on the contrary, decreased by about 5%-6%. Changes of wind-induced sea level fluctuations' character harmonize with wind direction and wind speed over the North-Western part of the Black Sea.

Keywords: North-Western part of the Black Sea, temporal variability of temperature, salinity and sea level, wind-induced sea level fluctuations.

ТЕНДЕНЦИИ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, СОЛЕННОСТИ И УРОВНЯ ВОДЫ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Н. А. Берлинский, Р. В. Гаврилюк,

А. О. Даниленко

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, Одесса, 65016, Украина,
nberlinsky@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>*

Выполнен анализ изменчивости гидрологических характеристик в северо-западной части Черного моря для разных временных масштабов – многолетних, сезонных и синоптических. Использовались традиционные методы географических исследований – сравнительно-географический, ретроспективный и картографический. При анализе массивов данных по уровню моря и термогалинным характеристикам применялись математические методы – статистический, корреляционный и регрессионный анализ.

За период 1982-2005 гг. в северо-западной части Черного моря наблюдается повышение температуры воды: в поверхностном слое в зимний период года температура повысилась на 2°C, а в придонном – более, чем на 3°C. В Одесском районе за период 1990-2005 гг. повышение средней годовой температуры воды составило 1,2°C. Наиболее существенное и статистически значимое повышение температуры происходило в летний гидрологический сезон: средняя летняя температура воды повысилась за этот период на 2,7 °C. В переходные сезоны (осенью и весной) также наблюдается тенденция повышения температуры, однако

статистически значимый тренд отмечается только в осенний период.

В многолетних изменениях солёности воды наблюдается статистически значимый отрицательный тренд. За период 1990-2005 гг. средняя годовая солёность воды снизилась на 1,36 ‰. Тенденция снижения солёности наблюдалась во все сезоны года, однако статистически значимые тренды отмечаются только в зимний и летний сезоны. На всех станциях северо-западной части Чёрного моря наблюдается повышение уровня моря. За период 1947-2012 гг. средний годовой уровень моря в районе Одессы повысился на 14 см. Анализ климатических изменений характера сгонно-нагонных колебаний уровня моря показал, что повторяемость нагонов разной интенсивности практически не изменилась, а в повторяемости сгонов произошли существенные изменения. За период 1980-2012 гг. по сравнению с периодом 1947-1979 гг. повторяемость незначительных сгонов (не более 30 см) увеличилась, а значительных (более 30 см) и очень значительных (более 50 см) – наоборот снизилась примерно на 5%-6%. Изменения характера сгонно-нагонных колебаний уровня хорошо согласуются с климатическими изменениями направлений и скорости ветра над северо-западной частью Чёрного моря.

Ключевые слова: северо-западная часть Чёрного моря, временная изменчивость температуры, солёности и уровня моря, сгонно-нагонные колебания.

Подання до редакції: 12. 10. 2018

Надходження остаточної версії: 23. 04. 2019

Публікація статті: 30. 05. 2019

УДК 551.46.0:551.465

РЕЗУЛЬТАТЫ АДАПТАЦИИ И ВЕРИФИКАЦИИ КОМПЛЕКСА ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Д. В. Кушнир¹, Ю. С. Тучковенко¹, Ю. И. Попов²

¹ Одесский государственный экологический университет, ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, dkush@ukr.net

² Филиал Одесского района Госгидрографии, пер. Маячный, 5, 65038, Одесса, Украина, office@hydro.od.ua

В 2014 году Украина лишилась национальной автоматизированной системы морского прогнозирования для Черного моря, которая была создана и функционировала на базе Морского гидрофизического института Национальной академии наук Украины, расположенного в Крыму.

В рамках научно-исследовательских работ по созданию новой системы морского прогнозирования рассматривается возможность использования известного комплекса интегрированных моделей Delft3D-FLOW + SWAN (Simulating WAVes Nearshore) для оперативного прогнозирования краткосрочной (5-10 суток) пространственно-временной изменчивости океанографических характеристик акватории украинской части Азово-Черноморского бассейна. Для обеспечения работы модельного комплекса в прогностическом режиме предполагается использовать прогноз изменчивости метеорологических характеристик на границе раздела «море-атмосфера», полученный при помощи глобальной численной модели прогноза погоды GFS (Global Forecast System).

В статье представлены результаты верификации моделей Delft3D-FLOW и SWAN, адаптированных к использованию в условиях северо-западной части Черного моря и ее Одесского района, в варианте с усвоением метеорологических данных (полей скорости и направления ветра, атмосферного давления) из архива прогнозов GFS. При адаптации модельного комплекса к условиям прогностической области использовался метод телескопизации пространственных криволинейных расчетных сеток с различной разрешающей способностью. Верификация моделей проводилась путем сравнения результатов моделирования с данными наблюдений за изменчивостью уровня моря в портах Одесского района северо-западной части Черного моря (Черноморск, Одесса, Южный), а также с данными о скорости и направлении ветра, дрейфовых течений, характеристик ветрового волнения, которые были зарегистрированы датчиками гидрометеорологического буя, стационарно установленного в Одесском заливе, в рассматриваемые периоды.

На основе анализа результатов верификации комплекса интегрированных численных математических моделей Delft3D-FLOW + SWAN сделан вывод о том, что данный комплекс имеет хорошие перспективы использования в системе оперативного прогноза изменчивости океанографических параметров состояния морской среды украинской части акватории Азово-Черноморского бассейна в варианте с ассимиляцией прогностической метеорологической информации, получаемой при помощи глобальной модели прогноза погоды GFS.

Ключевые слова: Черное море, северо-западная часть, океанографические характеристики, численное моделирование, верификация моделей, прогноз.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Европейском Союзе принята и действует программа Европейской Комиссии по исследованию и мониторингу земной поверхности – COPERNICUS, до декабря 2012 г. носившая название GMES (Global Monitoring for Environment and Security) [1]. В странах-участницах данной программы были созданы службы мониторинга, которые предос-

тавляют европейским институтам и органам управления информационные продукты и услуги по шести направлениям исследований:

- состав атмосферы (служба Copernicus Atmosphere Monitoring Service – CAMS);
- состояние и изменчивость морских экосистем мирового океана и европейских региональных морей (служба Copernicus Marine Environment Monitoring Service – CMEMS);

- изменчивость земного покрова, землепользование, круговорот воды и энергии на земной поверхности (служба Copernicus Land Monitoring Service – CLMS);
- исторические, текущие и будущие климатические условия в Европе и в остальном мире (служба Copernicus Climate Change Service – C3S);
- безопасность (служба Copernicus service for Security application);
- реагирование на чрезвычайные ситуации (служба Copernicus Emergency Management Service – EMS).

Для выполнения своих задач морская служба CMEMS программы COPERNICUS обеспечивает непрерывную работу центров по мониторингу и прогнозированию состояния морей Европы (Monitoring and Forecasting Centers – MFC), которые осуществляют гидротермодинамическое моделирование при помощи численных прогнозистических моделей с усвоением данных дистанционного зондирования и натурных наблюдений, полученных от тематических центров сбора данных (Thematic Data Assembly Centers – TAC), и генерируют данные ре-анализа (ретроспективного анализа), анализа (на текущий момент времени) и 10-ти суточного прогноза изменчивости гидрофизических параметров морской среды (морские течения, температура воды, ветер, соленость, уровень моря, ледовая обстановка и биогеохимический состав морских вод) [1, 2].

Для включения Украины в создаваемую систему морских центров мониторинга и прогнозирования службы CMEMS, в рамках реализации проектов MyOcean (2009-2012 гг.) и MyOcean-2 (2012-2014 гг.), на базе Морского гидрофизического института (МГИ) НАН Украины (г. Севастополь) был создан Экспериментальный центр морских прогнозов для Черного моря [3, 4], который должен был стать одним из европейских центров диагноза и прогноза состояния морской среды (MFC).

В работе центра для прогноза гидрофизических параметров состояния Черного моря (температуры, солености морской воды, уровня моря и горизонтальных компонент скоростей течений) использовалась гидродинамическая модель МГИ [5]. Прогноз выполнялся на срок до 5 суток и обновлялся ежедневно.

После выхода крымских научных организаций из-под юрисдикции Украины в 2014 г., данный центр перестал обслуживать потребности Украины в морских прогнозах и был исключен из числа европейских центров MFC.

В связи с этим, особую актуальность приобрела задача восстановления функционирования современной системы оперативного прогноза гидрологических и гидрофизических параметров состояния морской среды украинской части акватории Азово-Черноморского бассейна для обеспечения потребностей морехозяйственного комплекса Украины на базе Гидрометцентра Черного и Азовского морей – ГМЦ ЧАМ (Одесса). В решении этой задачи принимает участие Одесский государственный экологический университет, на базе которого, при финансовой поддержке Министерства образования и науки Украины, в настоящее время выполняется научно-исследовательский проект «Разработка составляющих национальной системы морских прогнозов Украины» (2017-2019 гг.).

Для прогнозирования краткосрочной (5-10 суток) пространственно-временной изменчивости океанографических характеристик акватории украинской части Азово-Черноморского бассейна предполагается использовать комплекс интегрированных моделей Delft3D-FLOW + SWAN. Гидродинамическая модель Delft3D-FLOW [6, 7] позволяет рассчитывать пространственно-временные изменения уровня моря, температуры и солености вод, трехмерных течений. Спектральная модель SWAN (Simulating WAVes Nearshore) [8, 9] используется для расчета распространения на мелководье и трансформации параметров ветрового волнения по заданным полям ветра, течений и топографии дна. Следует отметить, что указанные модели успешно применяются океанографическим офисом оперативной поддержки ВМС США NAVOCEANO [10] для прогнозирования волнения и циркуляции вод в прибрежных районах [11]. Данный модельный комплекс также широко используется гидрометеослужбами Европейского союза и США с целью оперативного прогнозирования параметров состояния морской среды и вынесения предупреждений об опасных гидрофизических явлениях [12-14].

В качестве исходной информации для прогнозирования океанографических характеристик, на данном этапе работ предполагается использовать метеорологические данные глобальной численной модели прогноза погоды GFS (Global Forecast System) Национальных центров по прогнозированию окружающей среды NCEP (National Centers for Environmental Predictions) США [15]. Пространственное разрешение прогностических данных модели GFS в горизонтальной плоскости составляет 0,25 °

по широте и долготе. Использование в оперативной практике метеоданных модели GFS является оправданным и перспективным в связи с наличием открытого доступа к ним через веб-сервис NOMADS (National Operational Model Archive and Distribution System) Национальной метеорологической службы США [16, 17]. Пользователям сервиса NOMADS предоставлена возможность загружать прогнозные данные как с трехчасовым прогностическим интервалом (8 раз в сутки с заблаговременностью 240 часов), так и с интервалом в один час (с заблаговременностью не более 120 часов).

Цель работы заключается в представлении результатов адаптации комплекса интегрированных моделей Delft3D-FLOW + SWAN к условиям северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) и верификации моделей с использованием архивных данных GFS-прогноза и наблюдений на прибрежных морских гидрометеорологических станциях, а также на морском гидрометеорологическом буе. На данном этапе

работ модельный комплекс использовался для расчета вызванных ветром колебаний уровня моря и характеристик ветрового волнения.

2. ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Модель Delft3D-FLOW базируется на численном решении трехмерных уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости на мелкой воде в приближении Буссинеска. Система дифференциальных прогностических уравнений модели состоит из уравнений движения, уравнения неразрывности, уравнения транспорта скалярных величин и замыкающей эти уравнения модели турбулентности [7].

Трехмерные уравнения движения модели Delft3D-FLOW, представленные для удобства чтения в прямолинейной системе координат по горизонтали и σ -системе координат по вертикали, имеют следующий вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - fv = -\frac{1}{\rho} P_u + F_u + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\nu_v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + fu = -\frac{1}{\rho} P_v + F_v + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\nu_v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right), \quad (2)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = -\frac{\partial \zeta}{\partial t} - \frac{\partial [(d + \zeta)u]}{\partial x} - \frac{\partial [(d + \zeta)v]}{\partial y}, \quad (3)$$

где $u(x, y, \sigma, t)$, $v(x, y, \sigma, t)$ и $\omega(x, y, \sigma, t)$ – компоненты векторов скорости течения в горизонтальном (x, y) и вертикальном (σ) направлениях соответственно, м с⁻¹; $\zeta(x, y)$ – уровень воды выше отсчетной плоскости, м; $d(x, y)$ – глубина воды ниже отсчетной плоскости, м; $H(x, y) = d(x, y) + \zeta(x, y)$ – полная локальная глубина, м; t – время, с; $f = 2\Omega \sin \varphi$ – параметр Кориолиса; ρ – плотность воды, кг м⁻³; P_u и P_v – члены, описывающие горизонтальное давление; F_u и F_v – члены, описывающие горизонтальную вязкость жидкости; ν_v – коэффициент вертикальной турбулентной вязкости.

Силы F_u и F_v в уравнениях движения (1, 2) представляют собой горизонтальные напряжения Рейнольдса в упрощенной, согласно [18], форме:

$$F_u = \nu_H \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right), \quad (4)$$

$$F_v = \nu_H \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right), \quad (5)$$

где ν_H – коэффициент горизонтальной турбулентной вязкости.

Коэффициенты горизонтальной и вертикальной турбулентной вязкости определяются следующим образом:

$$\nu_H = \nu_{3D} + \nu_H^{back}, \quad (6)$$

$$\nu_v = \nu_{mol} + \max(\nu_{3D}, \nu_v^{back}), \quad (7)$$

где ν_{3D} – вязкость, рассчитываемая в k - ϵ модели

турбулентности; ν_H^{back} , ν_V^{back} – пороговые значения коэффициентов горизонтальной и вертикальной турбулентной вязкости соответственно; ν_{mol} – коэффициент молекулярной вязкости.

Для уравнения скорости вертикального движения принимается гидростатическое приближение. Вертикальная скорость течения ω в σ -системе координат рассчитывается через уравнение неразрывности интегрированием по вертикали от дна до уровня σ ($-1 \leq \sigma \leq 0$).

Граничные условия для уравнений движения на верхней свободной поверхности моделируемой области ($\sigma = 0$) имеют следующий вид:

$$\left. \frac{\nu_H}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=0} = \frac{1}{\rho_0} |\vec{\tau}_s| \cos(\theta), \quad (8)$$

$$\left. \frac{\nu_H}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=0} = \frac{1}{\rho_0} |\vec{\tau}_s| \sin(\theta), \quad (9)$$

где θ – угол между вектором ветрового напряжения трения $\vec{\tau}_s$ и направлением локальной системы координат.

Ветровое напряжение трения на свободной поверхности моделируемой области $\vec{\tau}_s = (\tau_{sx}, \tau_{sy})$ определяется как

$$|\vec{\tau}_s| = \rho_a c_d U_{10}^2, \quad (10)$$

где ρ_a – плотность воздуха; $\bar{U}_{10} = (U_x, U_y)$ – скорость ветра на высоте 10 м; c_d – коэффициент поверхностного ветрового трения, который задается в соответствии со следующим соотношением:

$$c_d(U_{10}) = \begin{cases} c_d^A, & U_{10} < U_{10}^A \\ c_d^A + \frac{c_d^B - c_d^A}{U_{10}^B - U_{10}^A} (U_{10} - U_{10}^A), & U_{10}^A \leq U_{10} \leq U_{10}^B \\ c_d^B, & U_{10} \geq U_{10}^B \end{cases}, \quad (11)$$

где c_d^A , c_d^B – значения коэффициента ветрового трения при скоростях ветра U_{10}^A и U_{10}^B соответственно.

Граничные условия для уравнений движения на дне ($\sigma = -1$) имеют вид:

$$\left. \frac{\nu_V}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=-1} = \frac{\tau_{bx}}{\rho}, \quad (12)$$

$$\left. \frac{\nu_V}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=-1} = \frac{\tau_{by}}{\rho}. \quad (13)$$

Придонное напряжение трения на дне определяется через скорость придонного течения. Предполагается, что вектор придонного напряжения трения совпадает по направлению с вектором скорости придонного течения и его вели-

чина определяется квадратичным законом

$$\vec{\tau}_b = \frac{g \rho_0 \vec{u}_b |\vec{u}_b|}{c_D^2}, \quad (14)$$

где $g = 9,81 \text{ м с}^{-2}$ – ускорение свободного падения; ρ_0 – начальная плотность воды; c_D – коэффициент придонного трения:

$$c_D = \frac{\sqrt[6]{H}}{n}, \quad (15)$$

где n – коэффициент Маннинга, $\text{м}^{-1/3} \text{ с}$.

В основу модели SWAN положена система решения спектрального уравнения сохранения энергии волн, с учетом ее источников и стоков [8]:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (16)$$

где $N = E(\sigma, \theta, x, y) / \sigma$ – плотность волновой энергии; c_x , c_y – скорость переноса волновой энергии в плоскости (x, y) ; c_σ , c_θ – скорость пере-

носа волновой энергии в частотно-угловой плоскости (σ, θ) ; S – функция источников и стоков волновой энергии.

Для расчета донного трения в модели SWAN используются эмпирическая модель JONSWAP [19], модель трения Коллинза [20] или турбулентная модель Мадсена [21]. Эти модели в общем виде могут быть представлены в следующей форме

$$S_{ds,b} = -C_b \frac{\sigma^2}{g^2 \sin H^2 kd} E(\sigma, \theta), \quad (17)$$

где C_b – коэффициент донного трения, который зависит от придонного орбитального движения; σ – относительная круговая частота; k – волновое число; $E(\sigma, \theta)$ – плотность энергии в частотно-угловой плоскости (σ, θ) .

Программные коды моделей Delft3D-FLOW и SWAN, скомпилированные в исполняемые файлы при помощи компиляторов Fortran и C++, выполняются последовательно на одних и тех же криволинейных расчетных сетках и используют один набор ядер процессора компьютерной станции (или узлов вычислительного кластера) (рис. 1). При проведении гидродинамических расчетов, модель Delft3D-FLOW разбивает задачу для ее параллельного выполнения на процессорных ядрах (узлах) при помощи программного интерфейса Message Passing Interface (MPI). Модель SWAN при расчетах по умолчанию выполняет параллельные вычисления на всех ядрах процессора в соответствии со стандартом OpenMP (Open Multi-Processing).

При выполнении модельных расчетов в интегрированном режиме (*coupled mode*), модуль WAVE (SWAN) на каждом расчетном шаге получает (через буфер обмена) от гидродинамического модуля FLOW поля течений, уровня моря, зональных и меридиональных компонент скорости ветра для расчета параметров ветрового волнения, которые, в свою очередь, затем передаются в гидродинамический модуль для дальнейших расчетов уровня моря и течений.



Рис. 1 – Схема работы комплекса интегрированных моделей Delft3D-FLOW + SWAN

3. УСЛОВИЯ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ

При проведении расчетов с использованием интегрированной 3D-модели течений, уровня моря и волнения использовался метод «теле-скопизации». Акватория Азово-Черноморского бассейна покрывалась базовой криволинейной расчетной сеткой, которая состояла из 31271 расчетных ячеек с переменными размерами Δ_{xy} от 2,5 до 5 км (1 на рис. 2а). Внутри базовой расчетной сетки были сгенерированы вложенные расчетные сетки с большей детализацией: Δ_{xy} – в пределах 800 м-1,5 км для северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) (2 на рис. 2а) и 90-250 м – для акватории Одесского района СЗЧМ, где расположены морские порты Черноморск, Одесса, Южный (рис. 2б). При построении расчетных сеток были использованы оцифрованные топографические карты Генштаба Украины выпуска 1970-1980 гг. масштабов 1:50000, 1:100000, 1:200000; навигационные карты Черного и Азовского морей издательства ГУ «Госгидрография» «Укрморкартография» выпуска 2000-2008 гг. масштабов 1:50000, 1:100000, 1:200000, 1:10000; массив данных ФГУ «Одесский район Госгидрографии» о глубинах в северо-западной части Черного моря с пространственным разрешением 0,002° по широте и долготе.

Адаптация вышеуказанного комплекса численных математических моделей проводилась при задании однородных в пространстве и стационарных по времени ветровых условий. Моделирование выполнялось в течение 4 суток модельного времени при стационарных штормовых ветрах скоростью 20 м с⁻¹ разных направлений. Значения коэффициентов ветрового трения c_d^A и c_d^B при этом принимались равными соответственно $1,255 \times 10^{-3}$ (при $U_{10}^A \leq 7$ м/с) и $2,425 \times 10^{-3}$ (при $U_{10}^B = 25$ м с⁻¹). Отдельные результаты расчетов моделируемых океанографических характеристик для всего Азово-Черноморского бассейна представлены на рис. 3.

Для верификации численных моделей, из ряда наблюдений на гидрометеорологических станциях в портах Одесского района СЗЧМ за 2016-2017 гг. были выбраны отрезки времени со штормовыми ветрами, при которых наблюдались сильные сгонно-нагонные колебания уровня моря, ветровое волнение (как правило, соответствующее сильным нагонам).

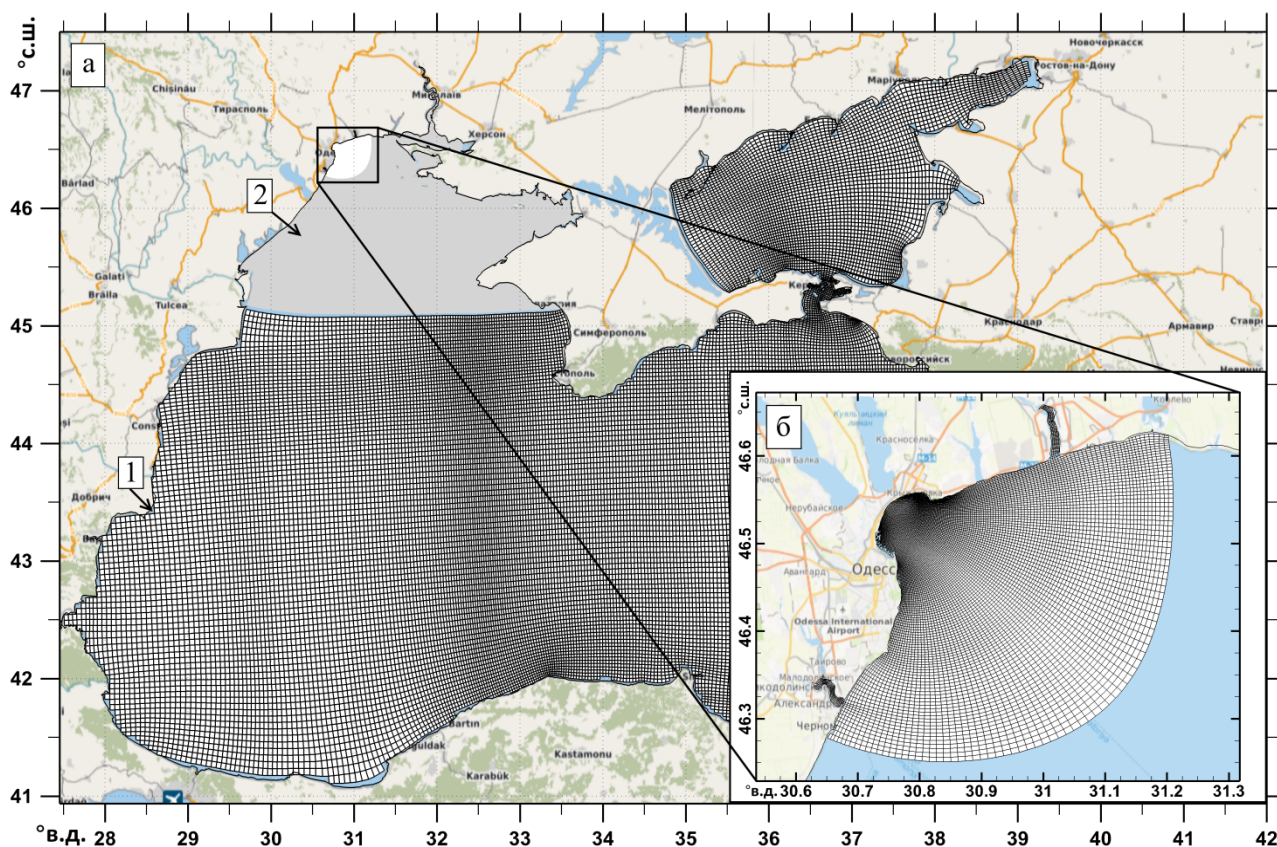


Рис. 2 – Криволинейные расчетные сетки для региона Азово-Черноморского бассейна: а – базовая расчетная сетка ($\Delta_{xy} = 2,5\text{--}5$ км) (1) и детализированная расчетная сетка для северо-западной части Черного моря ($\Delta_{xy} = 800$ м–1,5 км) (2); б – сетка для морской акватории портов Одесского района северо-западной части Черного моря

Моделирование проводилось в течение следующих периодов времени: 1) 16.07. – 25.07.2016 г.; 2) 06.10. – 18.10.2016 г.; 3) 27.11. – 09.12.2016 г.; 4) 16.04. – 26.04.2017 г.

В качестве входных данных для вышеуказанных периодов моделирования на верхней (с атмосферой) открытой границе расчетной области задавались (с временной дискретностью 3 часа) переменные в пространстве и времени поля зональной и меридиональной компонент скорости ветра, м с^{-1} , и атмосферного давления, приведенного к среднему уровню моря, Па, на равномерной $0,25^\circ$ -градусной сетке, считанные из архива прогнозов глобальной модели погоды GFS. Эти данные были загружены через веб-сервис NOMADS согласно следующей процедуре считывания.

При каждом запуске модели GFS в течение суток (в 00:00, 6:00, 12:00 и 18:00 UTC) генерируются прогностические поля метеорологических величин на период от 0 до 240 ч с 3-х часовой временной дискретностью. Поскольку

на данном этапе работы архив GFS-прогнозов использовался для верификации численных математических моделей Delft3D-FLOW и SWAN, то в каждый из основных сроков запуска модели GFS (4 раза в сутки) считывался прогноз только на ближайшие 6 часов.

При выполнении расчетов с использованием комплекса интегрированных моделей Delft3D-FLOW + SWAN, модель SWAN работала в нестационарном режиме для всех расчетных областей с целью адекватного моделирования параметров ветрового волнения при штормовых ветрах. Временной шаг решения уравнений модели Delft3D-FLOW составлял 30 с, модели SWAN – 600 с, а временной интервал интеграции моделей – 60 мин. Угловая детализация в модели SWAN была равна 10° . Для частотной координаты применялась сетка с 24 узлами в диапазоне частот 0,05–1,0 Гц.

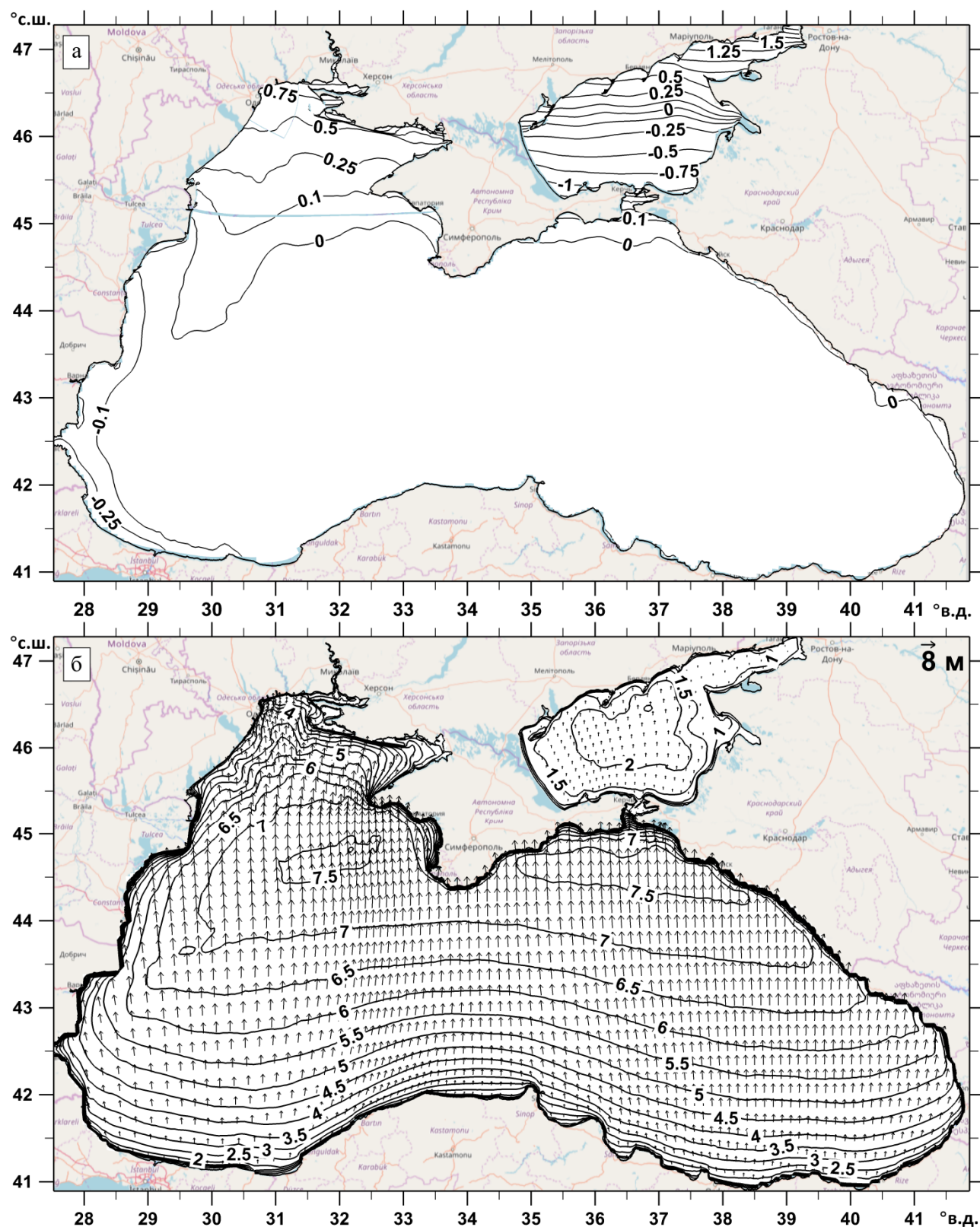


Рис. 3 – Поля отклонений уровня моря от невозмущенного состояния, м, (а), высот значительных волн*, м, и направления их распространения (б)** при стационарном южном ветре скоростью 20 м с^{-1}

* Отклонения уровня моря и высоты значительных волн показаны на рисунке контурами и цифрами

** Векторы направления распространения волн прорежены с интервалом $0,125^\circ$ для удобства чтения

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Верификация моделей проводилась путем сравнения результатов моделирования с данными наблюдений за изменчивостью уровня моря на морских гидрометеорологических станциях Гидрометцентра Черного и Азовского морей в портах Черноморск, Одесса, Южный и данными регистрации скорости и направления ветра, дрейфовых течений, характеристик ветрового волнения на гидрометеорологическом буе SW Midi-185 (производства Fugro OCEANOR, Норвегия), стационарно установленном в акватории Одесского залива ГУ «Госгидрография» в точке с координатами (46,484° с.ш., 30,785° в.д.) [22].

Поскольку результаты моделирования определяются точностью задания изменчивости ветровых условий над моделируемой акваторией, то первоначально был проведен сравнительный анализ данных по скорости и направлению ветра, считанных из архива прогнозов GFS, с данными автоматизированных наблюдений за ветром (с дискретностью 1 час) на гидрометеорологическом буе в соответствующие периоды времени. Результаты сравнения, приведенные на рис. 4, свидетельствуют о высокой степени совпадения анализируемых данных, особенно по модулю скорости ветра, хотя в отдельных случаях отмечалось смещение по времени моментов резкого изменения направления ветра или отсутствие их по данным наблюдений.

На рис. 5-6 показаны некоторые результаты моделирования вызванных ветром отклонений уровня моря от среднего невозмущенного ветром состояния в портах Одесского района СЗЧМ. Отклонения уровня моря, рассчитанные по модели, сравнивались с их значениями в портах Черноморск, Одесса, Южный, рассчитанными как разница между текущим наблюдаемым значением и средней отметкой уровня моря, определенной за расчетный период.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что модель хорошо воспроизводит временную динамику уровня моря в период штормовых ветров. В некоторых случаях отмечались и систематические погрешности в абсолютных значениях денивеляций уровня моря, объясняющиеся неточностью определения невозмущенной ветром отметки уровня моря, которая условно принималась равной средней за расчетный период отметке. В целом, погрешность при воспроизведении уровня моря в портах Одесского района СЗЧМ не превышает 0,1 м. Время приспособления модели к начальным условиям моделирования составляет несколько суток.

Пример пространственного распределения вызванных ветром денивеляций уровня моря в период сгонных штормовых ветров в декабре 2016 г. приведен на рис. 7. Поскольку порты Черноморск, Одесса, Южный расположены на побережье достаточно недалеко друг от друга, то во всех рассмотренных штормовых ситуациях разница денивеляций уровня между ними не превышала 0,1 м.

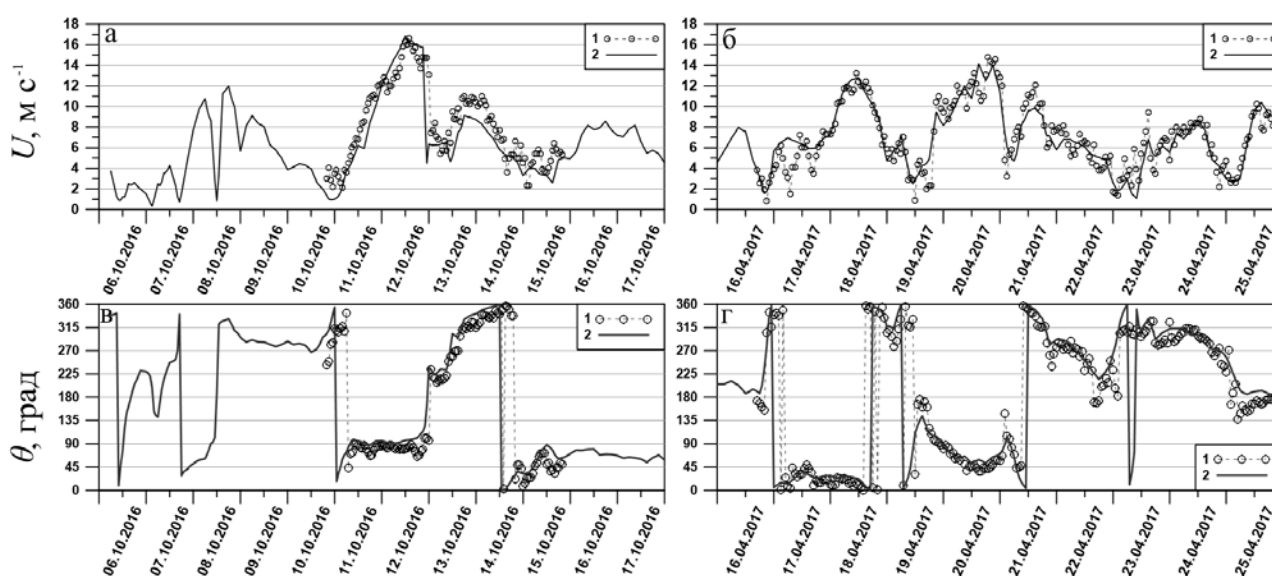


Рис. 4 – Изменчивость модуля (а, б) и направления (в, г) скорости ветра по данным гидрометеорологического буя (1) и модели GFS на сетке 0,25° (2) в расчетные периоды времени

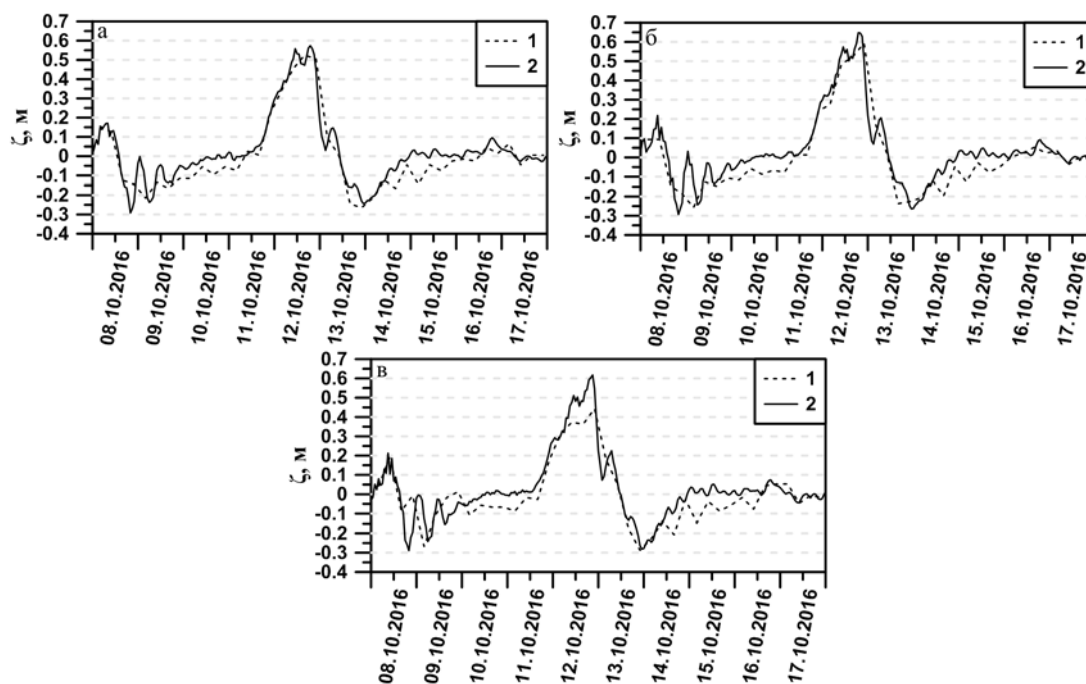


Рис. 5 – Изменчивость вызванных ветром денивелляций уровня моря, м, по данным наблюдений в портах Черноморск (а), Одесса (б), Южный (в) (1) и полученных в результате моделирования (2) в расчетный период 16.07 – 25.07.2016 г.

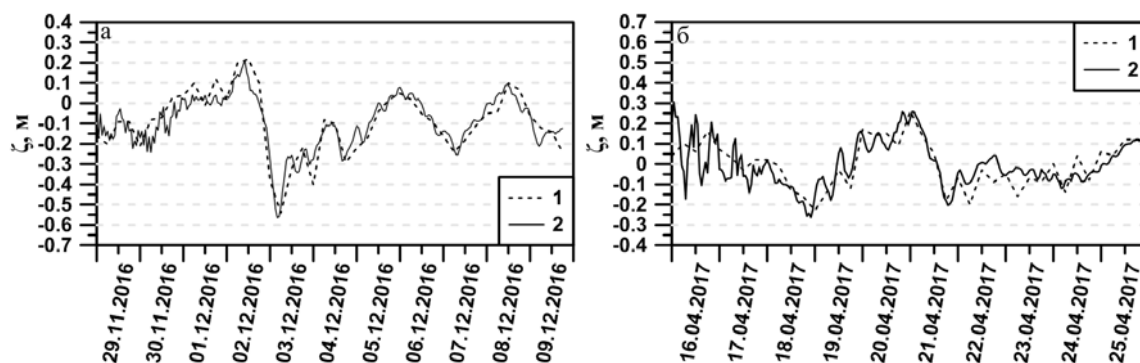


Рис. 6 – Изменчивость вызванных ветром денивелляций уровня моря, м, по данным наблюдений (1) и результатам моделирования (2) в порту Южный (а) в период 27.11. – 09.12.2016 г. и в порту Черноморск 16.04. – 26.04.2017 г. (б)

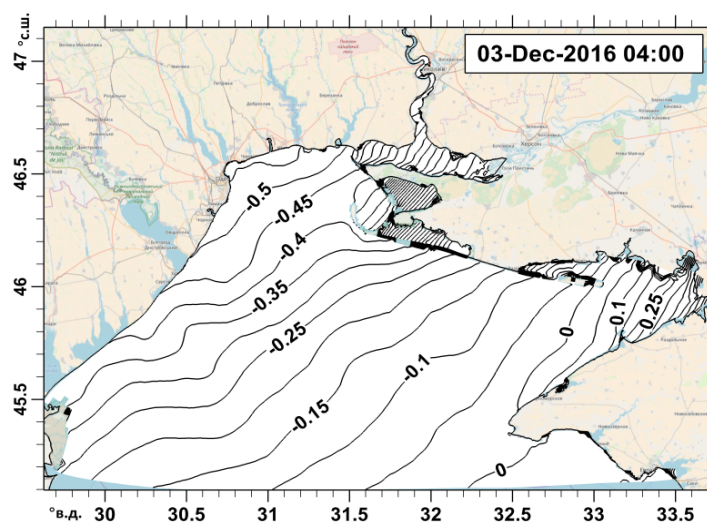


Рис. 7 – Поле денивелляций уровня моря, м, полученное при моделировании для СЗЧМ в момент времени 03.12.2016 г. 4:00

Поскольку гидрометеобуи SWMidi-185 оборудован доплеровским измерителем скорости и направления течения (Aquadop, Nortek), то было проведено сравнение дрейфовых течений (по модулю (рис. 8) и значениям составляющих вектора скорости) рассчитанных по модели и измеренных в точке расположения буя. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что степень сходства временной изменчивости измеренных и рассчитанных течений достаточно высока. Некоторые различия, которые отмечались, объясняются тем, что наблюдаемые течения, в отличие от рассчитанных по модели, состоят как из ветровой, так и плотностной составляющих. В периоды относительно слабого ветра и/или весеннего проникновения трансформированных вод речного стока в расчетную область, вклад плотностных течений в формирование суммарных увеличивается, и, соответственно, увеличиваются расхождения между измеренными и смоделированными течениями.

Отдельные результаты верификации модели SWAN по воспроизведению временной изменчивости высот и направления ветровых волн в точке расположения гидрометеорологического буя при доминировании ветров волноопасных направлений показаны на рис. 9, 10. Рассчитанные по модели значения соответствующих характеристик ветрового волнения сравнивались с данными измерений гидрометеорологического буя в выбранные расчетные периоды. Видно, что результаты моделирования хорошо согласуются с наблюдаемыми значениями. Представление о пространственном распределении высот значительных волн и среднего направления распространения волнения в Одесском районе СЗЧМ, получаемом при моделировании, дает рис. 10. Пространственная изменчивость указанных характеристик ветрового волнения в районах расположения морских портов Черноморск, Одесса, Южный обусловлена, прежде всего, особенностями трансформации и рефракции ветровых волн при вхождении их в зоны малых глубин с открытого моря.

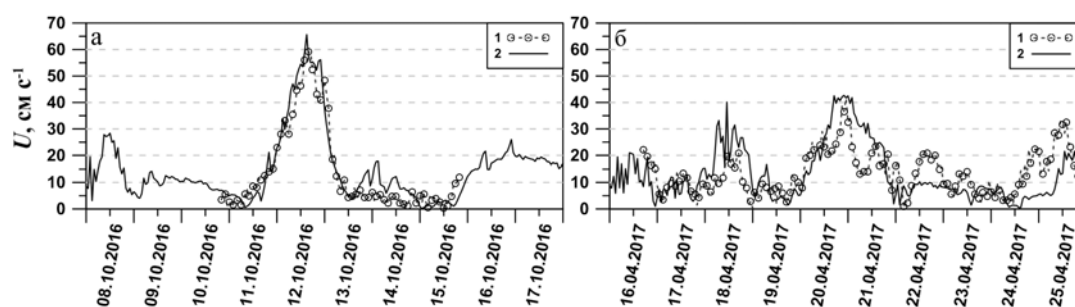


Рис. 8 – Временная изменчивость скорости дрейфового течения, cm s^{-1} , по данным измерений на гидрометеорологическом буе (1) и полученная в результате моделирования (2) в расчетные периоды: а) 06.10-18.10.2016 г.; б) 16.04-26.04.2017 г.

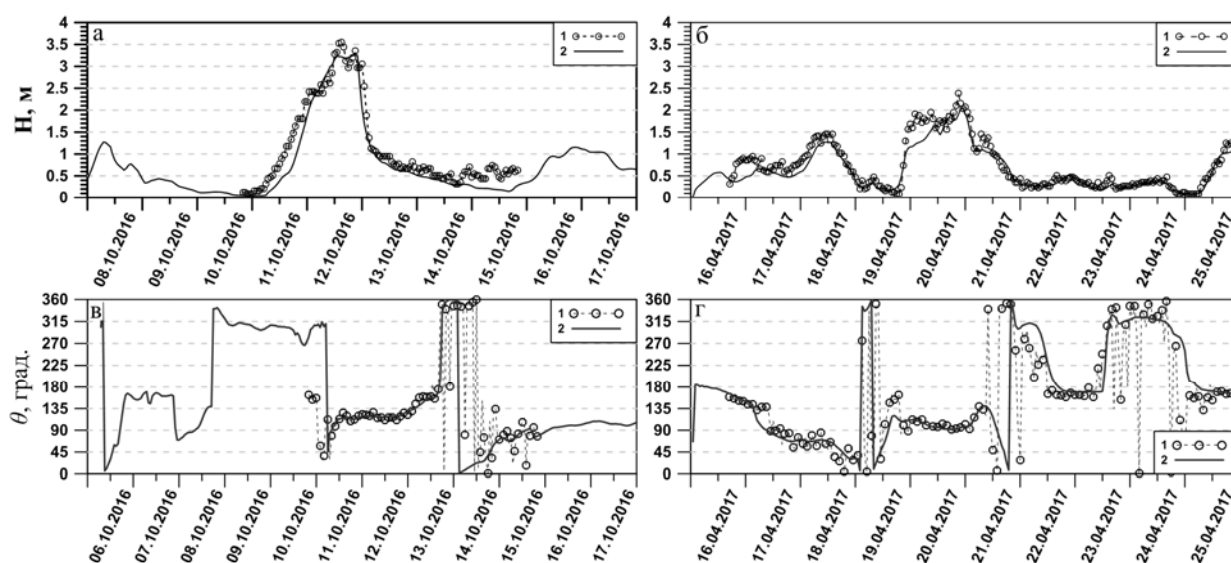


Рис. 9 – Временная изменчивость высот, м, (а, б) и направления, град, (в, г) ветровых волн по данным измерений на гидрометеорологическом буе (1) и полученная в результате моделирования (2) в расчетные периоды 06.10 – 18.10.2016 г. и 16.04 – 26.04.2017 г.

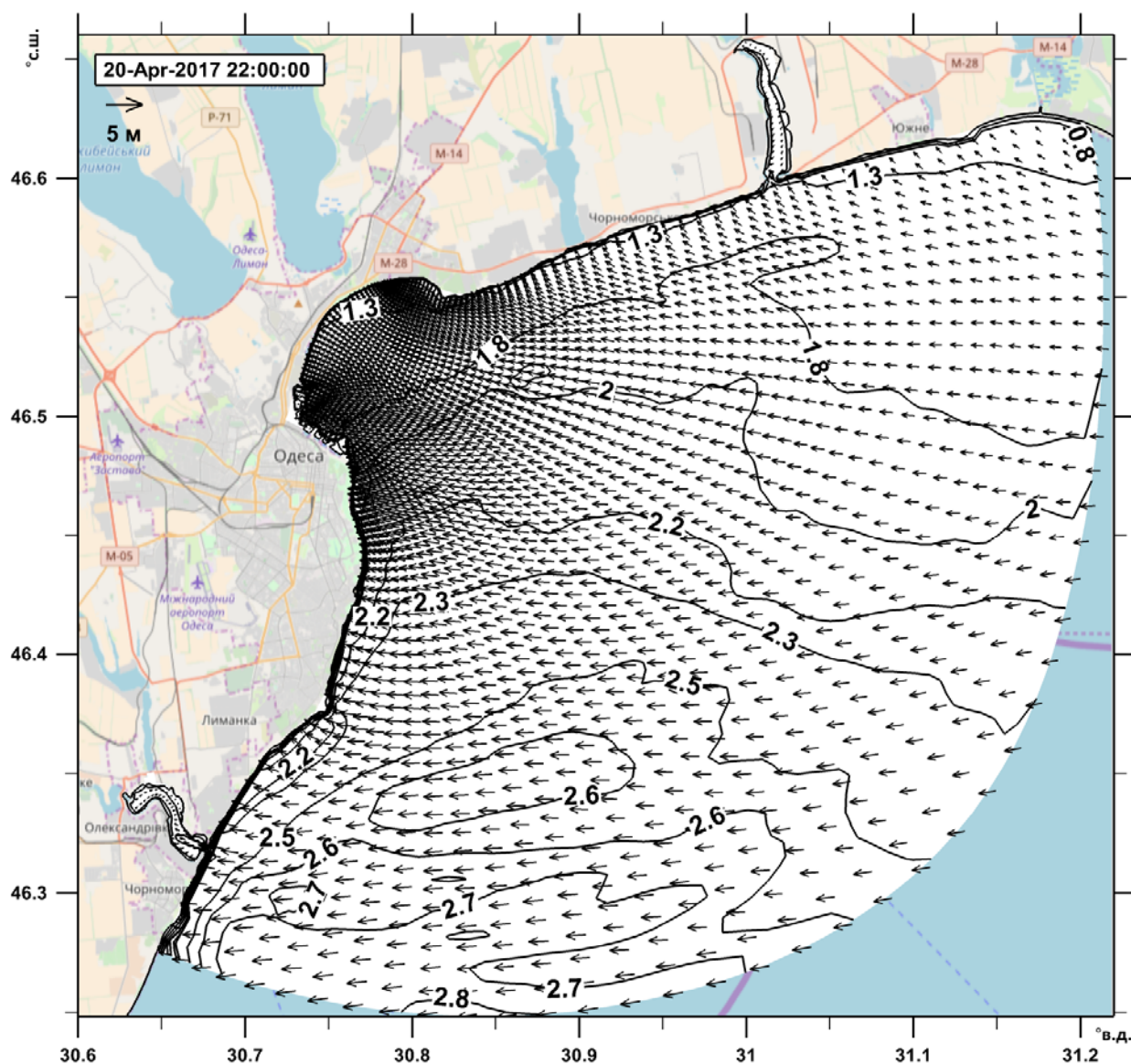


Рис. 10 – Поле высот значительных волн*, м, и среднего направления распространения волн, в акватории Одесского района Черного моря СЗЧМ, полученное при моделировании для момента времени 22:00 20.04.2017 г.

* Высоты значительных волн показаны на рисунке контурами и цифрами

5. ВЫВОДЫ

Полученные при верификации комплекса интегрированных численных математических моделей Delft3D-FLOW + SWAN результаты свидетельствуют о том, что данный комплекс имеет хорошие перспективы использования в системе оперативного прогноза изменчивости океанографических параметров состояния морской среды украинской части акватории Азово-Черноморского бассейна в варианте с усвоением прогностической метеорологической информации, получаемой при помощи глобальной атмосферной модели GFS.

В дальнейшем модельный комплекс будет испытан в прогностическом режиме для оценки

оправданности и точности оперативных (на 5-10 суток) прогнозов вызванных ветром изменений уровня моря, а также характеристик ветрового волнения в северо-западной части Черного моря. Использование гидродинамической модели Delft3D-FLOW как базовой составляющей системы автоматизированных морских прогнозов Украины позволяет в будущем дополнить перечень прогнозируемых океанографических параметров температурой и соленостью морской воды, течениями, переносом различных субстанций от их источников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Copernicus. European Union's Earth Observation Programme. URL: <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus> (дата обращения: 16.01.2019).
2. Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS). URL: <http://marine.copernicus.eu/> (дата обращения: 16.01.2019).
3. Kubryakov A. S., Korotaev G. K., Dorofeev V. L. et al. Black Sea coastal forecasting system. *Ocean Sci.* 2012. 8. Pp. 183-196. <https://doi.org/10.5194/os-8-183-2012>.
4. Архитектура и результаты работы международного Черноморского центра морских прогнозов, созданного на базе МГИ НАН Украины в рамках проекта Европейского Союза «Мой Океан» / Коротаев Г. К., Демьшев С. Г., Дорофеев В. Л. и др. *Екологічна безпека прибережних та шельфових зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2013. Вип. 27. С. 128-133.
5. Демьшев С. Г., Коротаев Г. К. Численная энергосбалансированная модель бароклинных течений океана с неровным дном на сетке С. *Численные модели и результаты калибровочных расчетов течений в Атлантическом океане*. Москва: ИВМ РАН, 1992. С. 163-231.
6. Исходный код модели Delft3D-FLOW / Deltares. Delft, the Netherlands, 2017. URL: <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/source-code> (дата обращения: 15.09.2017).
7. Delft3D-FLOW – Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments – User Manual, Hydro-Morphodynamics, version 3.15, SVN revision 60015 / Deltares systems. Delft, the Netherlands, 2019. 708 p. URL: http://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf. (дата обращения: 16.01.2019).
8. Исходный код модели SWAN: Simulating Waves Nearshore / Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Environmental Fluid Mechanics Section. 2018. URL: <http://swanmodel.sourceforge.net/> (дата обращения: 15.04.2018).
9. SWAN – User Manual, SWAN Cycle III, version 41.20 AB / TU Delft. 2017. URL: <http://swanmodel.sourceforge.net/download/zip/swanuse.pdf> (дата обращения: 15.04.2018).
10. Naval Oceanographic Office, общая информация / US NAVY. 2019. URL: http://www.public.navy.mil/fltfor/cnmoc/Pages/navo_home1.aspx (дата обращения: 16.01.2019).
11. Veeramony J., Orzech M. D., Edwards K. L. et al. Navy nearshore ocean prediction systems. *Oceanography*. 2014. 27(3). Pp. 80-91.
12. Valchev N., Eftimova P., Andreeva N. Implementation and validation of a multi-domain coastal hazard forecasting system in an open bay. *Coastal Engineering*. 2018. 134. Pp. 212–228. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.08.008>
13. Bennett V. C. C., Mulligan R. P., Hapke C. J. A numerical model investigation of the impacts of Hurricane Sandy on water level variability in Great South Bay, New York. *Continental Shelf Research*. 2018. 161. Pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.04.003>
14. Veeramony J., Condon A., van Ormondt M. Forecasting Storm Surge and Inundation: Model Validation. *Weather and Forecasting*. 2017. 32 (6). Pp. 2045–2063. <https://doi.org/10.1175/waf-d-17-0015.1>.
15. NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive. URL: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/#!access> (дата обращения: 15.04.2018).
16. The GFS Atmospheric Model. URL: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/moorthi/gam.html> (дата обращения: 15.04.2018).
17. NOAA. National Weather Service. Environmental Modeling Center. URL: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/GFS/php> (дата обращения: 16.01.2019).
18. Mellor G. L., Blumberg A. F. Modelling vertical and horizontal diffusivities and the sigma coordinate system. *Monthly Weather Review*. 1985. 113. Pp. 1379-1383.
19. Hasselmann K., Barnett T. P., Bouws E. et al. Measurements of wind wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Disch. Hydrogr. Z. Suppl.* 1973. 12. App. A8.
20. Collins J. I. Prediction of shallow water spectra. *J. Geophys. Res.* 1972. 77(15). Pp. 2693-2707.
21. Madsen O. S., Poon Y. K., Graber H. C. Spectral wave attenuation by bottom friction: Theory. *Proc. 21th Int. Conf. Coastal Engineering*, ASCE. 1988. Pp. 492-504.
22. Голодов М., Попов Ю., Матвеев А. Результати порівняльних спостережень гідрологічних та метеорологічних характеристик за даними вимірювань гідрометеорологічного буя SWMid-185 та пунктів спостережень Гідрометеорологічного бюро порту Іллічівськ у 2015 році. *Вісник Держгидрографії*. 2016. №1 (50). С. 2-5.

REFERENCES

1. Copernicus. European Union's Earth Observation Programme. Available at: <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus> (Accessed: 16 January 2019).
2. Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS). Available at: <http://marine.copernicus.eu> (Accessed 16 January 2019).
3. Kubryakov A.S., Korotaev G.K., Dorofeev V.L. et al. (2012). Black Sea coastal forecasting system. *Ocean Sci.*, 8, pp. 183-196. <https://doi.org/10.5194/os-8-183-2012>.
4. Korotaev, G.K., Demyshev, S.G. & Dorofeev, V.L. (2013). Arkhitektura i rezul'taty raboty mezhdunarodnogo Chernomorskogo tsentra morskikh prognozov, sozdanogo na baze MGI NAN Ukrainy v ramkakh proekta Evropeyskogo Soyuzu «Moy Okean» [The architecture and the results of the work of the International Black Sea Center for Marine Forecasts, created on the basis of the State Hydrophysical Institute of National Academy of Science of Ukraine in the framework of the European Union project “My Ocean”]. *Ekologichna bezpeka pryberzhnykh ta shelfovykh zon ta kompleksne vykorystannia resursiv shelfu* [Ecological safety of coastal and offshore areas and complex use of the shelf resources], 27, pp. 128-133. (in Russ.)
5. Demyshev, S.G. & Korotaev, G. K. (1992). Chislennaya energobalansirovannaya model' baroklinnykh techeniy okeana s nerovnym dnom na setke S [Numerical energy balanced model of baroclinic ocean currents with uneven bottom on a C-grid]. In: *Chislennye modeli i rezul'taty kalibrovочnykh raschetov techeniy v Atlanticheskoy okeane* [Numerical models and results of gauge calculations of currents in the Atlantic Ocean]. Moscow: IVM RAS, pp. 163-231. (in Russ.)
6. Deltares. (2019). *Delft3D-FLOW, source code*. Delft, the Netherlands. Available at: <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/source-code> (Accessed: 16 January 2019).
7. Deltares. (2019). *Delft3D-FLOW – Simulation of multi-*

- dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments – User Manual, Hydro-Morphodynamics, version 3.15, SVN revision 60015.* Delft, the Netherlands. Available at: http://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf (Accessed: 16 January 2019).
8. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Environmental Fluid Mechanics Section (2019). *SWAN: Simulating WAves Nearshore model.* Available at: <http://swanmodel.sourceforge.net/> (Accessed: 16 January 2019).
9. TU Delft (2017). *SWAN – User Manual, SWAN Cycle III, version 41.20 AB.* Available at: <http://swanmodel.sourceforge.net/download/zip/swanuse.pdf> (Accessed: 16 January 2019).
10. US NAVY (2019). *Naval Oceanographic Office.* Available at: http://www.public.navy.mil/fltfor/cnmoc/Pages/navo_home1.aspx (Accessed: 16 January 2019).
11. Veeramony, J., Orzech, M.D., Edwards, K.L. et al. (2014). Navy nearshore ocean prediction systems. *Oceanography*, 27(3), pp. 80-91.
12. Valchev, N., Eftimova, P., & Andreeva, N. (2018). Implementation and validation of a multi-domain coastal hazard forecasting system in an open bay. *Coastal Engineering*, 134, pp. 212–228. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.08.008>
13. Bennett, V.C.C., Mulligan, R.P. & Hapke, C.J. (2018). A numerical model investigation of the impacts of Hurricane Sandy on water level variability in Great South Bay, New York. *Continental Shelf Research*, 161, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.04.003>
14. Veeramony, J., Condon, A., & van Ormondt, M. (2017). Forecasting Storm Surge and Inundation: Model Validation. *Weather and Forecasting*, 32(6), pp. 2045–2063. <https://doi.org/10.1175/waf-d-17-0015.1>.
15. NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive. Available at: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/#!access> (Accessed: 15 April 2018).
16. The GFS Atmospheric Model. Available at: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/moorthi/gam.html> (Accessed: 15 April 2018).
17. NOAA/National Weather Service. (2019). *National Centers for Environmental Prediction. Environmental Modeling Center.* Available at: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/GFS/.php> (Accessed: 16 January 2019).
18. Mellor, G.L. & Blumberg, A.F. (1985). Modelling vertical and horizontal diffusivities and the sigma coordinate system, *Monthly Weather Review*, 113, pp. 1379-1383.
19. Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E. et al. (1973). Measurements of wind wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl.*, 12, A8.
20. Collins, J.I. Prediction of shallow water spectra. (1972). *J. Geophys. Res.*, 77(15), pp. 2693-2707.
21. Madsen, O.S., Poon, Y.-K. & Graber, H.C. (1988). Spectral wave attenuation by bottom friction: Theory. *Proc. 21th Int. Conf. Coastal Engineering*, ASCE, pp. 492-504.
22. Golodov, M., Popov, Yu. & Matveev, A. (2016). Rezultaty porivnialnykh sposterezhen hidrolohichnykh ta meteorohichnykh kharakterystyk za danymy vymiriuvan hidrometeorohichnoho buia SWMidi-185 ta punktiv sposterezhen Hidrometeorohichnoho biuro portu Illichivsk u 2015 rotsi [Results of comparative observations of hydrological and meteorological characteristics according to measurements of the hydrometeorological buoy SWMidi-185 and observation points of the Hydrometeorological Bureau of the Port of Illichivsk in 2015.] *Visnyk Derzhhidrografii [Bulletin of State Hydrographic Service of Ukraine]*, 1 (50), pp. 2-5. (in Ukr.)

RESULTS OF ADAPTATION AND VERIFICATION OF THE COUPLED NUMERICAL MODELS SET FOR PREDICTING THE VARIATION OF OCEANOGRAPHIC FEATURES IN THE NORTH-WESTERN PART OF THE BLACK SEA

D. V. Kushnir¹, Yu. S. Tuchkovenko¹, Yu. I. Popov²

¹ Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016, Odesa, Ukraine, dkush@ukr.net

² Odessa branch of the State Hydrographic Service of Ukraine, Mayachny Lane, 5, 65038, Odesa, Ukraine, office@hydro.od.ua

In 2014 Ukraine lost the Ukrainian National Automated System of Marine Forecasting for the Black Sea that was created and operated at the premises of Marine Hydrophysical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine located in the Crimea.

Within the framework of research works aimed at establishing a new marine forecasting system a possibility of employing the internationally acclaimed set of coupled numerical models Delft3D-FLOW + SWAN (the Simulating WAves Nearshore) for operational forecasting of the short-term (5 to 10 days) spatio-temporal variability of oceanographic features in the Ukrainian part of the Sea of Azov and the Black Sea Basin is considered. To ensure operation of the models set in the forecasting mode it was suggested to use a prediction of variability of meteorological characteristics at the air-sea interface obtained with the help of the numerical weather forecast model GFS (Global Forecast System).

This paper presents the results of verification of Delft3D-FLOW and SWAN numerical models which were adapted to the conditions of the North-Western part of the Black Sea and its Odesa area in the version of meteorological data (fields of wind speed and direction, atmospheric pressure) assimilation from the GFS forecast archive. A technique of telescoping the spatial curvilinear computational grids with different resolution capacity was used in the process of

models set adaptation to the conditions of the prognostic area. The models were verified by comparing modelling results with observational data on sea level variability in the ports of Odesa area of the North-Western part of the Black Sea (Chornomorsk, Odesa, Yuzhnyi), as well as with data on wind speed and direction, drift currents and characteristics of wind-induced waves recorded over the studied periods by the gauges of stationary hydrometeorological buoy which was mounted in the Bay of Odessa.

Based on the analysis of the results of verification of coupled numerical models Delft3D-FLOW + SWAN set it was concluded that the set of coupled models has good prospects of being used in the system of operational forecasting of the variability of oceanographic parameters of the sea environment in the Ukrainian part of the Sea of Azov and the Black Sea Basin in the version of assimilation of meteorological information obtained from the GFS global forecast model.

Keywords: the Black Sea, North-Western part, oceanographic features, numerical modelling, models verification, forecast.

РЕЗУЛЬТАТИ АДАПТАЦІЇ ТА ВЕРИФІКАЦІЇ КОМПЛЕКСУ ІНТЕГРОВАНИХ ЧИСЕЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ МІНЛИВОСТІ ОКЕАНОГРАФІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПІВНІЧНО-СХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ

Д. В. Кушнір¹, Ю. С. Тучковенко¹, Ю. І. Попов²

¹ Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, dkush@ukr.net

² Філія Одеського району Держгідрографії, пров. Маячний, 5, 65038, Одеса, Україна, office@hydro.od.ua

У 2014 році Україна втратила національну автоматизовану систему морського прогнозування для Чорного моря, яка була створена та функціонувала на базі Морського гідрофізичного інституту Національної академії наук України, розташованого в Криму.

В рамках науково-дослідних робіт зі створення нової системи морського прогнозування розглядається можливість використання відомого комплексу інтегрованих моделей Delft3D-FLOW + SWAN (Simulating WAVes Nearshore) для оперативного прогнозування короткострокової (5-10 діб) просторово-часової мінливості океанографічних характеристик акваторії української частини Азово-Чорноморського басейну. Для забезпечення роботи модельного комплексу у прогностичному режимі передбачається використовувати прогноз мінливості метеорологічних характеристик на межі розділу «море-атмосфера», отриманий за допомогою глобальної чисельної моделі прогнозу погоди GFS (Global Forecast System).

У статті представлені результати верифікації моделей Delft3D-FLOW і SWAN, адаптованих до використання в умовах північно-західної частини Чорного моря та її Одеського району, у варіанті із засвоєнням метеорологічних даних (полів швидкості та напрямку вітру, атмосферного тиску) з архіву прогнозів GFS. При адаптації модельного комплексу до умов прогностичної області використовувався метод телескопізації просторових криволінійних розрахункових сіток з різною розподільною здатністю. Верифікація моделей проводилась шляхом порівняння результатів моделювання з даними спостережень за мінливістю рівня моря в портах Одеського району північно-західної частини Чорного моря (Чорноморськ, Одеса, Южний), а також з даними щодо швидкості і напрямку вітру, дрейфових течій, характеристик вітрового хвилювання, які були зареєстровані датчиками гідрометеорологічного буя, стаціонарно встановленого в Одеській затоці, в періоди, які розглядались.

На основі аналізу результатів верифікації комплексу інтегрованих чисельних математичних моделей Delft3D-FLOW + SWAN зроблено висновок про те, що даний комплекс має хороші перспективи використання в системі оперативного прогнозу мінливості океанографічних параметрів стану морського середовища української частини акваторії Азово-Чорноморського басейну в варіанті з асиміляцією прогностичної метеорологічної інформації, одержуваної за допомогою глобальної моделі прогнозу погоди GFS.

Ключові слова: Чорне море, північно-західна частина, океанографічні характеристики, чисельне моделювання, верифікація моделей, прогноз.

Подання до редакції : 07. 03. 2019
Надходження остаточної версії : 04. 04. 2019
Публікація статті : 30. 05. 2019

УДК 551.46.0:551.465

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІДГІННО-НАГІННИХ КОЛИВАНЬ РІВНЯ МОРЯ В ПОРТАХ ОДЕСЬКОГО РАЙОНУ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ

Ю. С. Тучковенко

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, tuch2001@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>

Стаття присвячена обговоренню перспектив використання спрощеної 2-D гідродинамічної моделі для прогнозування ініційованих вітром відгінно-нагінних коливань рівня моря в районах морських портів (Чорноморськ, Одеса, Южний) Одеського району північно-західній частині Чорного моря. Просторово-часова мінливість вітрових умов на межі розділу «море-атмосфера» задається на основі даних глобальної чисельної моделі прогнозу погоди GFS (Global Forecast System). Наведено опис математичної структури гідродинамічної моделі і результати її адаптації до умов модельованої області моря. Представлені результати верифікації моделі у варіанті з засвоєнням даних про мінливість вітрових умов з архівів GFS-аналізу і GFS-прогнозів за 2010, 2016 і 2017 рр.

Верифікація виконувалася шляхом порівняння розрахованих при моделюванні і встановлених на основі даних спостережень (з дискретністю 6 годин) викликаних вітром денівеляцій рівня моря в портах Чорноморськ, Одеса, Южний. Кількісна оцінка точності розрахунку виконувалася для випадків, коли денівеляції рівня за даними спостережень перевищували значення середньоквадратичного відхилення всього ряду. З наборів вибірок, які відповідають цій умові, були сформовані нові ряди спостережень і розрахованих за моделлю значних відгінно-нагінних денівеляцій рівня моря в кожному з портів. З використанням цих рядів були отримані оцінки середньоквадратичної помилки розрахунків, допустимої помилки розрахунків, коефіцієнта кореляції між фактичними і розрахованими величинами денівеляцій рівня, забезпеченості методу розрахунку при допустимій помилці розрахунків. Встановлено, що в разі використання при моделюванні даних GFS-аналізу вітру (з просторовою роздільною здатністю $0,5^\circ$ за широтою та довготою) забезпеченість розрахунку значних денівеляцій рівня моря становить 84-85%, а при використанні даних GFS-архіву прогнозів вітру (з просторовою роздільною здатністю $0,25^\circ$) – 88-91%.

Зроблено висновок про те, що модель має добрі перспективи застосування для оперативного прогнозу викликаних штормовим вітром коливань рівня моря у варіанті з асиміляцією прогностичної інформації щодо просторово-часової мінливості вітрових умов, яка одержується за допомогою глобальної моделі прогнозу погоди GFS.

Ключові слова: північно-західна частина Чорного моря, відгінно-нагінні коливання рівня моря, імітаційне моделювання, верифікація.

1. ВСТУП

Відновлення функціонування сучасної системи оперативного прогнозу гідрологічних та гідрофізичних параметрів стану морського середовища української частини акваторії Азово-Чорноморського басейну, втраченої після виходу з під юрисдикції України кримських наукових установ, є актуальною задачею.

У переліку гідрологічних параметрів, що підлягають визначенню при прогнозуванні, перш за все слід відзначити рівень моря. Ініційовані штормовими вітрами відгінно-нагінні коливання рівня моря можуть призводити до катастрофічних наслідків на узбережжі і впливати на судно-

плавство. Зокрема, у разі штормових нагонів відбувається підтоплення прибережних територій, на яких розташовані портові, рекреаційні та оздоровчі об'єкти, гідротехнічні споруди, транспортні комунікації. Штормові відгони створюють загрозу безпеці мореплавства великотоннажних суден з осадкою більше 10 м в акваторіях портів та на підходах до них. Наприклад, оскільки акваторія п. Чорноморськ штучно поглиблена до 14 м, а великотоннажні судна мають осадку до 13,8 м, то запас глибини під кілем становить в підхідних каналах всього 0,20 м. Отже, при значному спаді рівня виникає реальна загроза посадки суден на донні ґрунти.

Наприкінці 1990-х років для оперативного прогнозу відгінно-нагінних коливань рівня моря в портах північно-західної частини Чорного моря в Гідрометцентрі Чорного та Азовського морів (ГМЦ ЧАМ) використовувалась авторська чисельна гідродинамічна модель [1, 2] заснована на вирішенні рівнянь теорії «мілкої води» у 2D наближенні [3-5], яка потім була втрачена. Зважаючи на те, що ця модель має спрощену відносно сучасних 3D моделей математичну структуру, спрямовану тільки на прогнози коливань рівня моря і, відповідно, потребує мінімальних комп'ютерних ресурсів для практичного застосування, було прийняте рішення про відновлення її застосування в ГМЦ ЧАМ, який на даний час не має доступу до потужних серверів для проведення прогностичних розрахунків.

За оновленою прогностичною схемою вищевказану модель пропонується використовувати з даними прогнозу вітру (на 10 діб з часовою дискретністю 3 год), отриманими за глобальною чисельною моделлю прогнозу погоди GFS (Global Forecast System), веб-сервіс (National Operational Model Archive and Distribution System – NOMADS) якої знаходиться в США [6, 7]. Просторова деталізація прогностичних даних моделі GFS у горизонтальній площині становить $0,25^\circ$ за широтою та довготою. Національна метеорологічна служба США надає безкоштовний доступ до прогностичних даних моделі GFS, тому їх використання є виправданим та перспективним. Прогностична продукція за моделлю GFS використовується, зокрема, в оперативній діяльності Українського гідрометеорологічного центру.

Метою роботи є визначення перспектив використання спрощеної 2-D гідродинамічної моделі для відтворення та прогнозування ініційованих вітром відгінно-нагінних коливань рівня моря в районах морських портів (Чорноморськ, Одеса, Южний) Одеського району північно-західної частини Чорного моря (ПнЗЧМ) із засвоєнням даних щодо просторово-часової мінливості вітрових умов над акваторією ПнЗЧМ, отриманих за глобальною чисельною атмосферою моделлю GFS.

2. МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Математична структура моделі

Система гідродинамічних рівнянь моделі записується у такому вигляді [1, 5]:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV + g \frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{1}{\rho_w H} (\tau_{sx} - \tau_{bx}), \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU + g \frac{\partial \xi}{\partial y} = \frac{1}{\rho_w H} (\tau_{sy} - \tau_{by}), \quad (2)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial (HU)}{\partial x} + \frac{\partial (HV)}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

де U, V – компоненти вектору $\vec{V}(U, V)$ середньої за глибиною швидкості течій по осях x та y , відповідно; $H = h + \xi$ – повна глибина; h – глибина на незбуреній воді; ξ – відхилення рівневої поверхні від незбуреного стану; ρ_w – густина води; $\tau_{sx}, \tau_{sy}; \tau_{bx}, \tau_{by}$ – компоненти по осях x та y векторів дотичних напружень поверхневого $\vec{\tau}_s(\tau_{sx}, \tau_{sy})$ і придонного $\vec{\tau}_b(\tau_{bx}, \tau_{by})$ тертя; $f = 2\omega \sin \varphi$ – параметр Коріолісу; ω – вертикальна складова вектору кутового обертання Землі; φ – широта місця; g – прискорення вільного падіння; t – час.

Рівняння (1)-(3) вважаються заданими в деякій області просторових змінних з достатньо гладкою границею, яка співпадає з природними границями ПнЗЧМ.

Як було показано в [1], зовнішній радіус деформації Росії, на якому відбувається геострофічне пристосування довгохвильових (баротропних) мод, в умовах північно-західної частини Чорного моря складає ≈ 170 км. Тобто при моделюванні відгінно-нагінних коливань рівня моря в портах ПнЗЧМ необхідно проводити моделювання для всієї цієї акваторії.

В якості граничних умов на твердих границях $\Gamma_{\text{тв}}$ розрахункової області для системи (1)-(3) ставиться умова непроточності: $V_{\vec{n}} = 0$, а на рідкій границі $\Gamma_{\text{р}}$ – умова випромінювання:

$$V_{\vec{n}} = \xi \sqrt{g/H}; \quad \partial V_{\vec{\tau}} / \partial \vec{n} = 0,$$

де $V_{\vec{n}}$ і $V_{\vec{\tau}}$ – нормальна та тангенціальна до границі складові вектора швидкості течії; $\vec{n}$ – одинична зовнішня нормаль до граничного контуру Γ .

Компоненти вектора дотичного напруження тертя вітру на верхній межі (повітря-вода) роз-

рахункової області визначаються за такими залежностями:

$$\tau_{sx} = \rho_a C_a W_{10} W_x, \quad (4)$$

$$\tau_{sy} = \rho_a C_a W_{10} W_y, \quad (5)$$

де ρ_a – щільність повітря ($\rho_a = 1,25 \text{ кг/м}^3$); W_x й W_y – складові вектора швидкості вітру на висоті 10 м над рівнем моря по осях x і y , відповідно; W_{10} – модуль швидкості вітру на висоті 10 м; C_a – коефіцієнт поверхневого тертя:

$$C_a = \begin{cases} 1,2 \cdot 10^{-3}, & \text{якщо } W_{10} \leq 5,0 \text{ мс}^{-1} \\ (0,8 + 0,065 W_{10}) \cdot 10^{-3}, & \text{якщо } W_{10} > 5,0 \text{ мс}^{-1} \end{cases}$$

Компоненти вектора дотичного напруження донного тертя на нижній межі (вода-дно) розрахункової області визначаються наступним чином

$$\tau_{bx} = \Phi U \text{ і } \tau_{by} = \Phi V, \quad (6)$$

де $\Phi = \rho_w C_b (U^2 + V^2)^{1/2}$. Тут ρ_w – густина морської води ($\rho_w = 1015 \text{ кг/м}^3$); $C_b = 2,6 \cdot 10^{-3}$ – коефіцієнт донного тертя.

За початкові умови приймається стан спокою:

$$\vec{V}(x, y) = 0, \quad \zeta(x, y) = 0, \quad \text{якщо } t = 0.$$

Рівняння моделі (1)-(3), з відповідними граничними умовами, апроксимувалися на рівномірній просторовій сітці (рис. 1), що переважається, за допомогою чисельного кінцево-різницевого методу запропонованого в [8] і реалізованого в [1].

2.2 Постановка задачі і вихідні дані

При розрахунках акваторія ПнЗЧМ (рис. 1) апроксимувалась рівномірною горизонтальною розрахунковою сіткою з просторовим кроком 1000 м. Просторовий розподіл глибин та берегова лінія задавались на основі інформації ФДУ «Одеський район Держгідрографії».

З метою адаптації та перевірки працездатності описаної вище гідродинамічної моделі, з точки зору можливості її використання для прогнозування викликаних вітром відгінно-нагінних коливань рівня води в портах ПнЗЧМ, було проведено ряд чисельних експериментів.

В першій серії чисельних експериментів з моделлю, які виконувались з метою адаптації

моделі та перевірки її працездатності, задавались однорідні у просторі і стаціонарні у часі штормові вітрові умови. Визначався час встановлення баротропної вітрової циркуляції та очікувані величини відхилення рівня моря від незбуреного стану (денівеляції) в різних районах досліджуваної акваторії при сталих штормових вітрах різних напрямків.

Наступні серії чисельних експериментів з моделлю проводилась в імітаційному режимі з метою її верифікації

В другій серії чисельних експериментів моделювання виконувались протягом тривалого періоду часу із засвоєнням даних ре-аналізу вітру за моделлю GFS, які були зчитані з архіву на веб-ресурсі [9]. При розрахунках використовувались задані з дискретністю 3 години поля компонент швидкості вітру з просторовою роздільною здатністю $0,5^\circ$ за широтою і довготою. Моделювання виконувалось для тривалих штормових періодів 2010 та 2016 рр.: 05.01-18.03.2010 р.; 22.09-23.10.2010 р.; 06.01-26.02.2016 р.; 01.10-30.12.2016 р.

Третя серія чисельних експериментів з моделювання викликаних вітром денівеляцій водної поверхні в ПнЗЧМ виконувалась із засвоєнням даних архіву прогнозів за моделлю GFS, зчитаних з веб-ресурсу [10]. На відміну від архіву ре-аналізу, архів GFS-прогнозів містить дані щодо мінливості компонент швидкості вітру з більш детальним просторовим розділенням – $0,25^\circ$ за широтою і довготою. При цьому використовувалась наступна процедура зчитування даних. Модель GFS запускається чотири рази на добу – в 00:00, 6.00, 12:00 і 18:00 годин UTC. Кожен раз при запуску модель генерує прогностичні поля метеорологічних величин з 3-х годинною часовою дискретністю на період від 0 до 240 год. Оскільки на даному етапі роботи архів GFS-прогнозів використовувався для верифікації гідродинамічної моделі, то в кожен з основних термінів запуску моделі GFS протягом доби (4 рази на добу) зчитувався прогноз тільки на найближчі 6 годин. Моделювання виконувалось для тривалих штормових періодів 2016-2017 рр.: 01.10-15.12.2016 р.; 02.01-23.02.2017 р.; 02.10-06.11.2017 р.; 18.11-22.12.2017 р.

Для перенесення полів компонент вектору швидкості вітру, представлених у вузлах сітки GFS моделі, на більш дрібну розрахункову сітку гідродинамічної моделі (з просторовою роздільною здатністю 1 км) виконувалась просторова інтерполяція за методом квадратичних (зворотних) зважених відстаней.

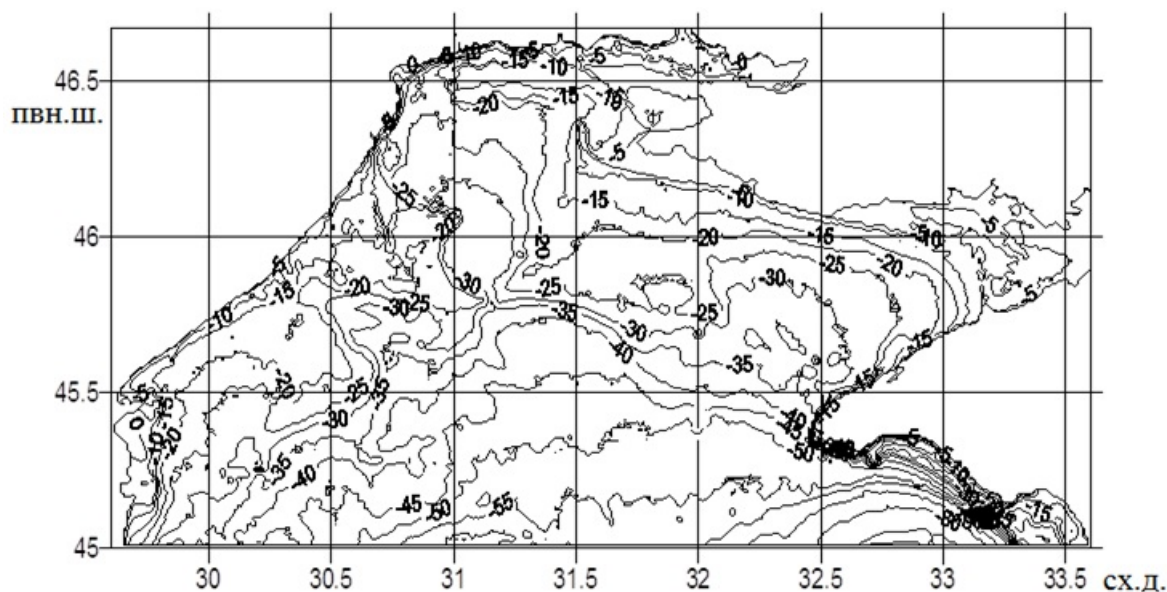


Рис. 1 – Акваторія північно-західної частини Чорного моря, яка апроксимувалась рівномірною горизонтальною розрахунковою сіткою з просторовим кроком 1000 м, та розподіл глибин в ній за даними ФДУ «Одеський район Держгідрографії»

Верифікація моделі виконувалась із використанням архівних даних спостережень за рівнем моря на морських гідрометеорологічних станціях (МГС) Гідрометцентру Чорного та Азовського морів «порт-Одеса» (код станції 98013), «Чорноморськ» (код станції 98008), «порт Южний» (код станції 980091), виконаних в осінньо-зимовий період 2010, 2016, 2017 рр. Обрані роки характеризуються наявністю часових відрізків з потужними штормовими вітрами, які викликали значні відгінно-нагінні коливання рівня моря. Отримані за результатами моделювання денівеляції рівня моря, спричинені дією вітру, порівнювались з їх значеннями, розрахованими за результатами спостережень на МГС як різниця між спостереженою відміткою рівня моря та осередненою за 11 добовий інтервал часу з центром в розрахунковій добі.

3. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

В першій серії чисельних експериментів з моделлю, яка виконувалась за однорідних у просторі і стаціонарних у часі штормових вітрових умов, було встановлено, що модель зберігає сталість при стаціонарних вітрах різних напрямків швидкістю до 25 м/с при розрахунковому кроці у часі 10 сек. Розрахунок протягом 10 діб модельного часу виконується за 20 хвилин реального часу на стандартному персональному комп'ютері. Модельний час, протягом якого відбувається встановлення відхилень рівня моря

від незбуреного вітром стану, при сталих штормових вітрах швидкістю $15-20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, дорівнює 20-30 годинам (рис. 2). Аналіз результатів розрахунків для портів Чорноморськ, Одеса, Южний показав, що, наприклад, у разі штормового північного вітру швидкістю $20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ максимальний відгін слід очікувати в районі порту Южний ($-70 \div -85 \text{ см}$), а мінімальний – в районі порту Чорноморськ ($-45 \div 60 \text{ см}$). При сталому південно-східному вітрі швидкістю $20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ підвищення рівня моря в портах Южний і Одеса складе $70 \div 90 \text{ см}$. Наведені значення відповідають спостереженням.

Уявлення про усталені (отримані в результаті розрахунків протягом 5 діб модельного часу) просторові розподіли на акваторії ПнЗЧМ відхилень рівня моря від стану спокою при стаціонарних вітрах різних напрямків надає рис. 3.

Попередні чисельні експерименти з гідродинамічною моделлю, із засвоєнням при розрахунках полів компонент швидкості вітру отриманих за атмосферою моделлю GFS, показали, що хоча на якісному рівні модель правильно відтворює часову динаміку викликаних вітром денівеляцій рівня моря в портах Одеського району ПнЗЧМ, однак амплітуда цих коливаний явно занижується. В ході модельних експериментів було встановлено, що досягнути задовільного збігу змодельованих і визначених за даними спостережень значень денівеляцій рівня моря можна у разі введення для компонент швидкості вітру за моделлю GFS збільшуючого множника, який повинен дорівнювати 1,7-1,75. Необхід-

ність застосування цього множника можливо пояснюється тим, що в рівняннях моделі безпосередньо не враховується вплив на коливання рівня моря градієнтів атмосферного тиску. Введення множника опосередковано враховує цей вплив. Подальша верифікація моделі, результати якої наведені нижче, виконувалась із застосування множника 1,75.

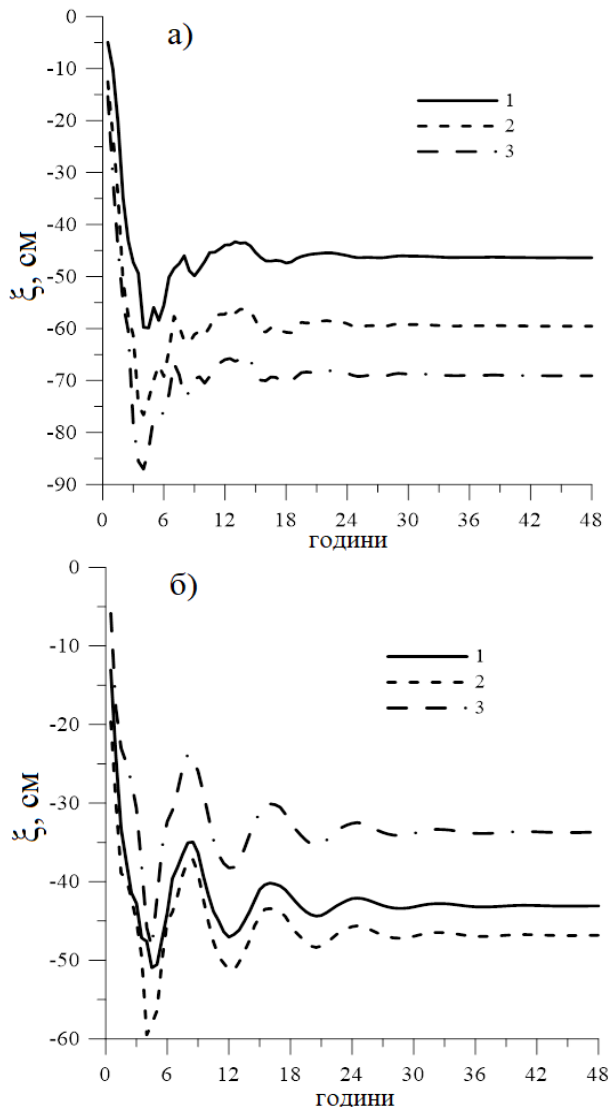


Рис. 2 – Відхилення рівня моря від незбуреного стану в портах Одеського району ПнЗЧМ (1– Чорноморськ, 2 – Одеса, 3 – Южний) при сталих північних (а) і західних вітрах швидкістю 20 м·с⁻¹

Часова мінливість розрахованих за гідродинамічною моделлю і визначених за даними спостережень вітрових денівеляцій рівня моря в портах Чорноморськ, Одеса, Южний у штормові періоди 2010, 2016, 2017 рр. представлена на рис. 4-6. Візуальний аналіз наведених результатів свідчить, що модель добре відображає тенденції викликаних вітром коливань рівня моря

в розрахункові періоди. В той же час мають місце окремі випадки значних похибок при оцінці величин екстремальних відгінно-нагінних коливань рівня моря, які у більшості таких випадків полягають у недооцінці нагонів і переоцінці відгонів. Ці похибки можуть бути викликані як неточністю або недостатнім просторовим розрішенням вітрових умов, так і впливом місцевих умов розташування водомірних постів в портах.

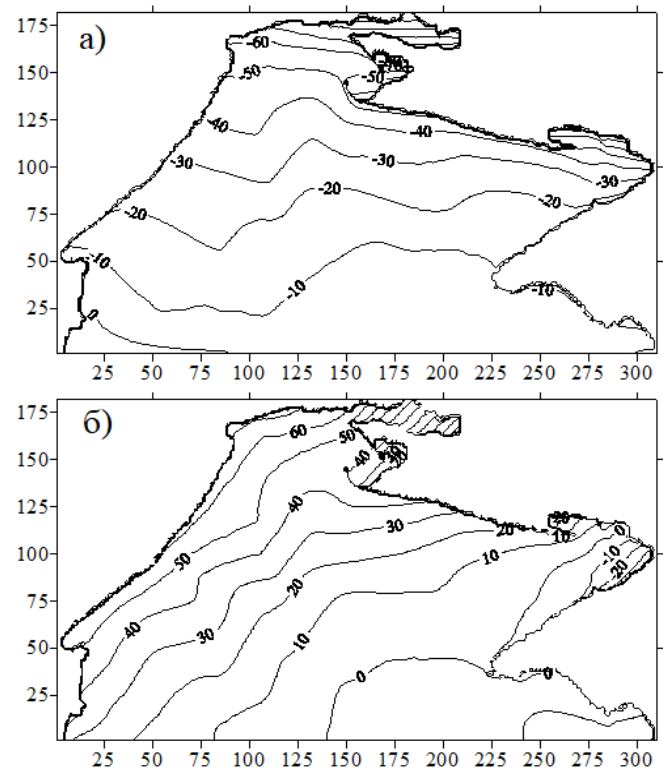


Рис. 3 – Розраховані за моделлю поля відхилень рівня моря ξ (в см) від незбуреного стану в ПнЗЧМ при сталих північних (а) і південно-східних (б) вітрах швидкістю 20 м·с⁻¹. По осях координат вказані номери вузлів розрахункової сітки з просторовим кроком 1000 м

Кількісна оцінка прогностичної здатності моделі виконувалась із використанням рекомендацій [11].

За результатами статистичного аналізу рядів денівеляцій рівня моря, розрахованих за даними спостережень в портах Одеського регіону у відрізки часу, для яких виконувалось моделювання в 2-й і 3-й серії чисельних експериментів, було встановлено, що середньоквадратичне відхилення рівня моря від незбуреного вітром стану становило ≈ 13 см. Це значення було прийняте як граничне для подальшої ідентифікації значних відгінно-нагінних коливань рівня моря. З вихідних рядів спостережених значень денівеляцій рівня моря (з дискретністю 6 годин) були зроблені вибірки випадків,

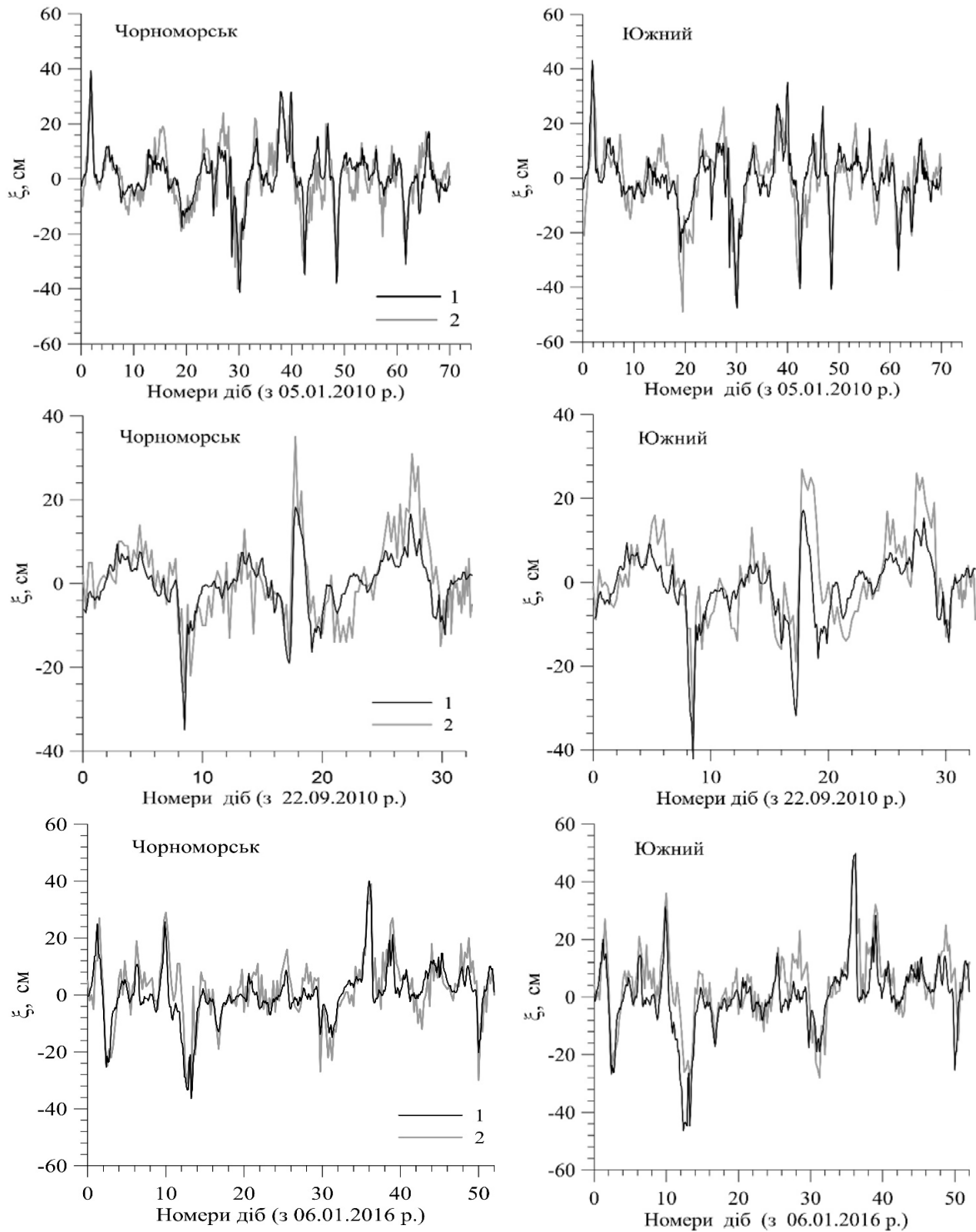


Рис. 4 – Часова мінливість розрахованих за моделлю (1) із засвоєнням даних GFS аналізу вітру і спостережених (2) вітрових денівеляцій рівня моря (в см) в портах Чорноморськ і Южний у штормові періоди: 05.01-18.03.2010 р.; 22.09-23.10.2010 р.; 06.01-26.02.2016 р.

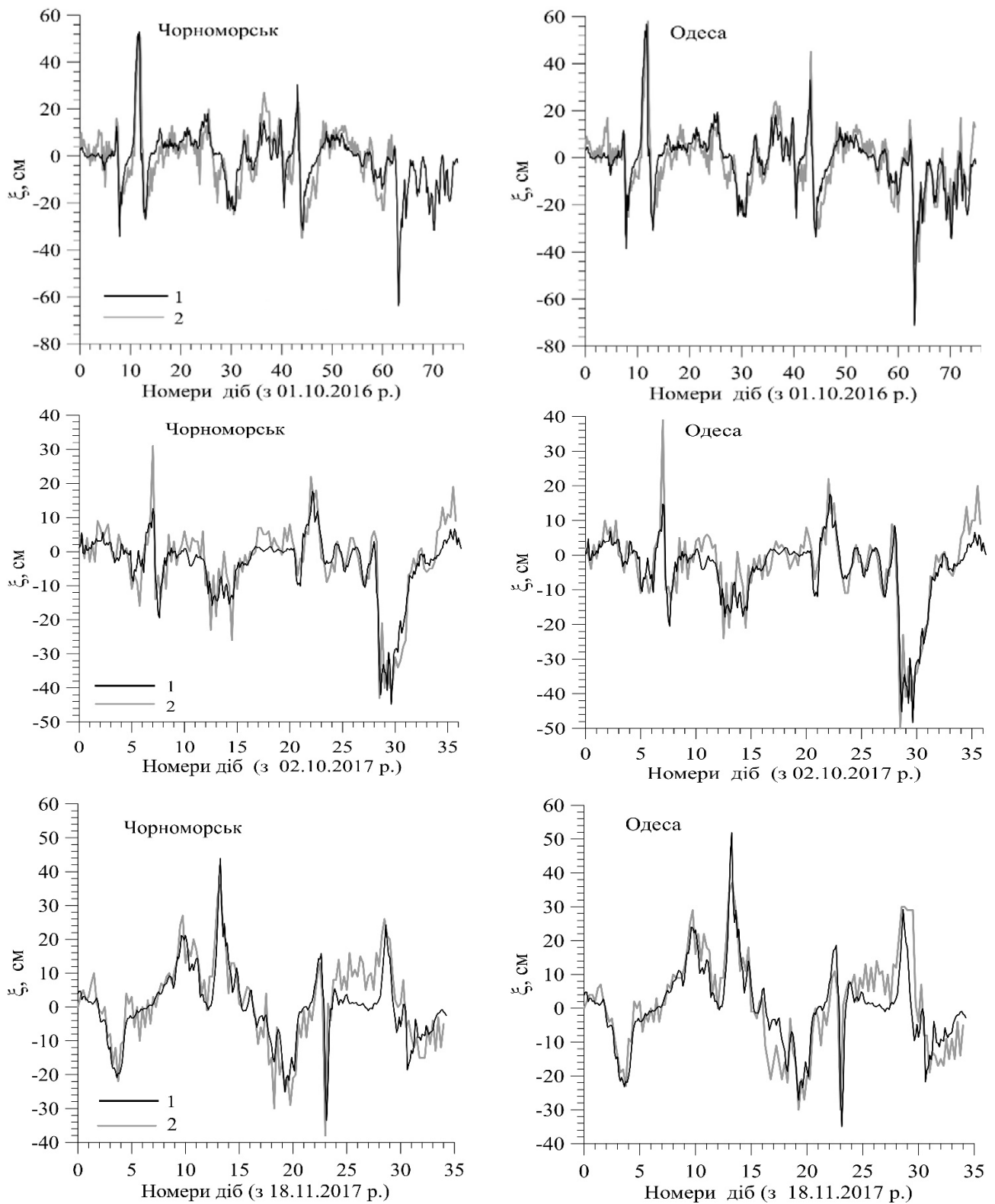


Рис. 5 – Часова мінливість розрахованих за моделлю (1) із засвоєнням даних архіву GFS прогнозів вітру і спостережених (2) вітрових денівеляцій рівня моря (в см) в портах Чорноморськ і Одеса у штормові періоди: 01.10 - 15.12.2016 р.; 02.10 - 06.11.2017 р.; 18.11 - 22.12.2017 р.

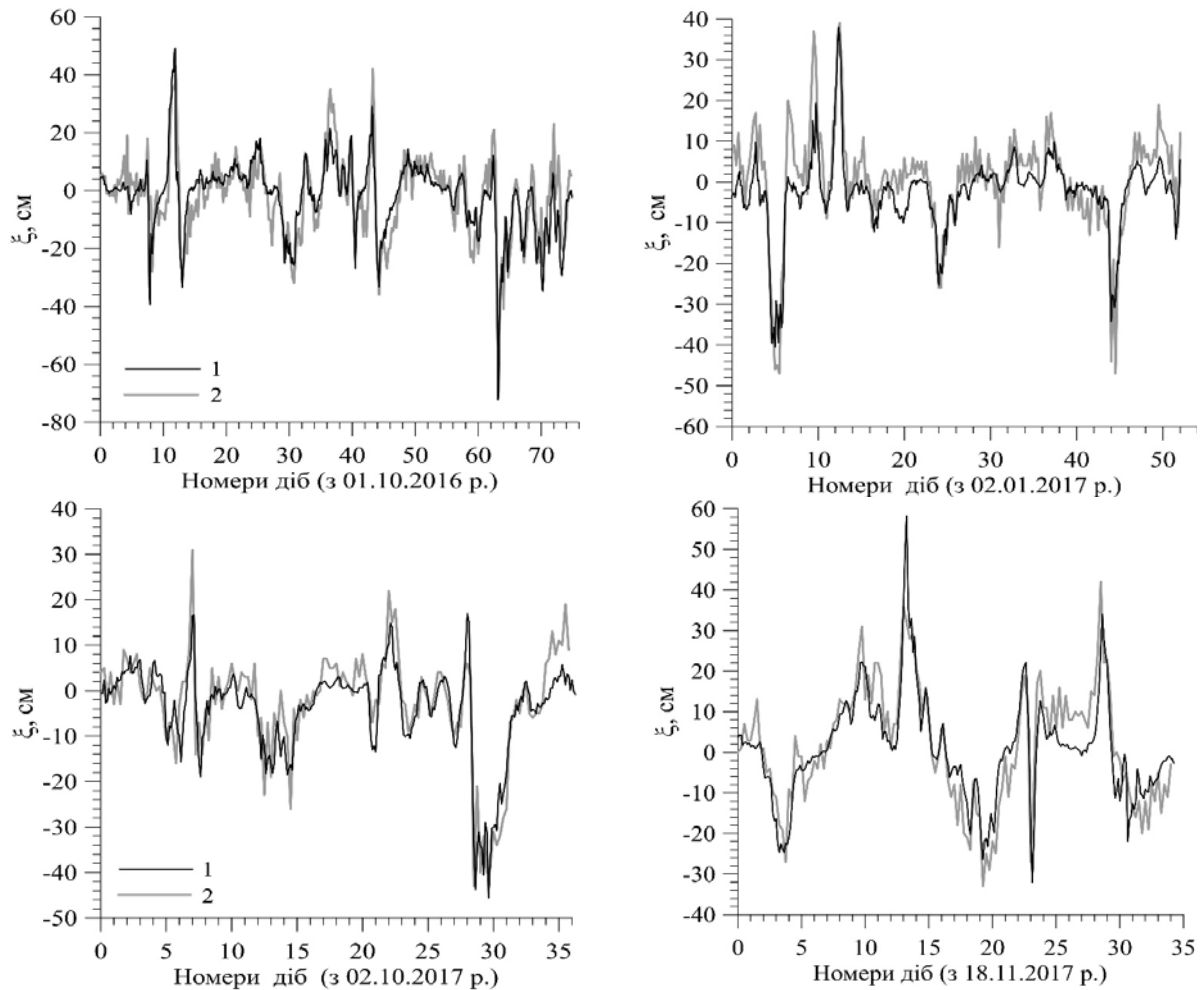


Рис. 6 – Часова мінливість розрахованих за моделлю (1) із засвоєнням даних архіву GFS прогнозів вітру і спостережених (2) вітрових денівеляцій рівня моря (в см) в порту Южний у штормові періоди: 01.10 - 15.12.2016 р.; 02.01 - 23.02.2017 р.; 02.10 - 06.11.2017 р.; 18.11 – 22.12.2017 р.

коли величина денівеляцій дорівнювала або перевищувала граничне значення. Виділені вибірки об'єднувалися в новий ряд для кожного з портів. Такі ж ряди були сформовані з розрахованих за моделлю значень денівеляцій рівня у відповідні моменти часу. Саме ці ряди використовувалися для оцінки точності розрахунку за моделлю. Довжина рядів склала 275-296 значень (в залежності від порту) для 2-ої серії чисельних експериментів (з використанням даних GFS аналізу вітру) та 180-207 значень – 3-ої серії (з використанням даних GFS прогнозу вітру). За ними розраховувалися наступні характеристики [11]: σ – середнє квадратичне відхилення спостережених значень денівеляцій рівня моря від середнього, S – середня квадратична помилка розрахунків, δ – допустима помилка розрахунків, R – коефіцієнт кореляції між фактичними і розрахованими величинами, P – забезпеченість методу розрахунку за допустимої помилки δ , де

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\xi_{\phi} - \xi_m)_i^2}, \quad \delta = \pm 0,674\sigma,$$

$$P = \frac{m}{n} \cdot 100\%,$$

$$R = \frac{\frac{1}{n-1} \sum (\xi_m - \bar{\xi}_m)(\xi_{\phi} - \bar{\xi}_{\phi})}{\left[\frac{1}{n-1} \sum (\xi_m - \bar{\xi}_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{n-1} \sum (\xi_{\phi} - \bar{\xi}_{\phi})^2 \right]^{\frac{1}{2}}},$$

n – кількість членів ряду для кожного з портів; ξ_{ϕ} – фактична (розрахована за даними спостережень) денівеляція рівня моря; ξ_m – розраховане за моделлю відхилення рівня моря від незбуреного вітром стану; $\bar{\xi}_{\phi}$ – середнє значення ряду денівеляцій рівня моря за даними спостережень, $\bar{\xi}_m$ – середнє значення ряду денівеляцій рівня моря отриманих при моделюванні,

Таблиця 1 – Кількісні оцінки точності розрахунків денівеляцій відгінно-нагінних коливань рівня моря (наведені діапазони значень отриманих для різних портів)

Вітрові умови	σ , см	S , см	S/σ	δ , см	R	P, %
GFS - аналіз	20,16-21,70	9,84-10,72	0,48-0,49	13,59-14,62	0,87-0,88	84-85
GFS – архів прогнозів	21,73-23,36	8,62-10,10	0,40-0,43	14,64-15,74	0,91-0,92	88-91

m – кількість модельованих значень денівеляцій рівня моря, які відрізняються від спостережених на величину меншу ніж допустима помилка розрахунків.

Результати розрахунку кількісних показників, які визначають точність розрахунку відгінно-нагінних коливань рівня моря за моделлю в 2-й і 3-й серії чисельних експериментів, наведені в таблиці 1. Вони свідчать про те, що при використанні для моделювання даних GFS аналізу вітру забезпеченість розрахунку значних денівеляцій рівня моря за моделлю складає 84-85 %, а при використанні в розрахунках даних GFS архіву прогнозів вітру – 88-91 %. Тобто модель має добрі перспективи для використання її для прогнозування відгінно-нагінних коливань рівня моря в портах Одеського району ПнЗЧМ.

Загальне уявлення про помилки при моделюванні відгінно-нагінних коливань рівня моря для кожного з портів Одеського району ПнЗЧМ дають діаграми відхилень змодельованих вітрових денівеляцій рівня моря від спостережених у відповідні моменти часу (з дискретністю 6 годин), представлені на рис. 7. Зауважимо, що наведене порівняння є досить жорстким, оскільки помилка розрахунку визначається не тільки величинами змодельованих і спостережених відгінно-нагінних денівеляцій рівня моря, а і повною відповідністю динаміки їх розвитку за часом. У разі виникнення короточасних значних денівеляцій рівня моря, помилки при порівнянні можуть виникати за рахунок надто великої часової дискретності спостережених значень.

4. ВИСНОВКИ

Результати верифікації авторської 2D чисельної гідродинамічної моделі для прогнозу відгінно-нагінних коливань рівня моря у варіантах із засвоєнням даних архіву ре-аналізу і архіву прогнозів вітру отриманих за моделлю GFS для 2010, 2016, 2017 рр. свідчать, що модель здатна правильно відтворювати мінливість коливань рівня моря в результаті вітрової дії. Отримано задовільну відповідність модельних і спостере-

жених кривих часового ходу значних денівеляцій рівня моря, викликаних вітром, на підходах до портів Одеського регіону ПнЗЧМ. Забезпеченість імітаційних розрахунків за моделлю складає 84-91 %.

Валідацію моделі планується провести при вирішенні задач прогнозування з різною завчасністю випадків значних відгінно-нагінних коливань рівня моря, спостережених в портах Одеського району ПнЗЧМ, із використанням прогнозів мінливості вітрових умов, складених в дати, які передують спостереженому явищу, взятих з архіву прогнозів за GFS моделлю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лонин С. А., Тучковенко Ю. С. Имитация сгонно-нагонных колебаний уровня моря в портах северо-западной части Черного моря. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : МГИ НАН Украины, 1999. С. 58-66.
2. Коморин В. Н., Тучковенко Ю. С. Использование численной гидродинамической модели для прогноза сгонно-нагонных колебаний уровня моря в портах северо-западного шельфа Черного моря. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2002. № 46. С. 324-331.
3. Вольцингер Н. Е., Пясковский Р. В. Теория мелкой воды. Океанологические задачи и численные методы : монография. Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. 207 с.
4. Герман В. Х., Левиков С. П. Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря: монография. Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. 231 с.
5. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря : монография / Блатов А. С., Булгаков Н. П., Иванов В. А. и др. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 240 с.
6. The GFS Atmospheric Model. URL: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/moorthi/gam.html> (дата звернення 15.10.2017).
7. NOAA. National Weather Service. Environmental Modeling Center. URL: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/GFS/.php> (дата звернення 11.11.2017).
8. Lui S. K., Leendertse J. J. Multidimensional numerical modeling of estuaries and coastal seas. *Adv. Hydroscl.* 1978. No 11. Pp. 95-164.

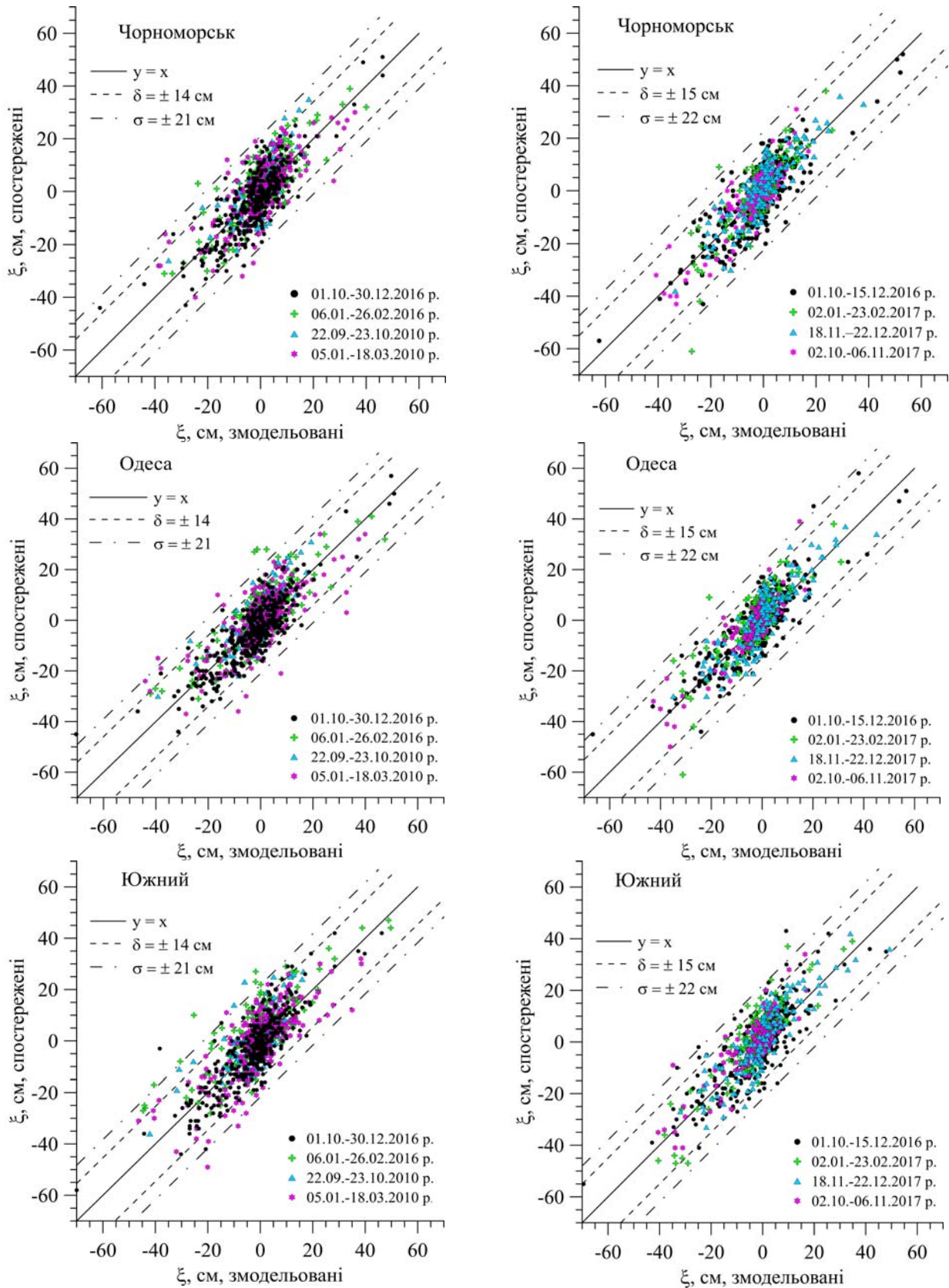


Рис. 7 – Діаграми відхилень змодельованих вітрових денівеляцій рівня моря від спостережених у відповідні моменти часу (з дискретністю 6 годин) в портах Одеського району ПнЗЧМ при використанні даних щодо мінливості вітрових умов з архівів GFS-аналізу (ліворуч) GFS-прогнозів (праворуч)

9. NOAA. Global Forecast System (GFS). GFS Analysis. URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>. GFS-ANL 004 (0.5°). URL: <https://nomads.ncdc.noaa.gov/data/gfsanl/...> (дата звернення 15.07.2016)
 10. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive. URL: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/#!access> (дата звернення 21.10.2017)
 11. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть III. Служба морских гидрологических прогнозов. Росгидромет, 2011, 193 с.
- REFERENCES**
1. Lonin, S.A. & Tuchkovenko, Yu.S. (1999). Imitatsiya sgonno-nagonykh kolebaniy urovnya mora v portakh severo-zapadnoy chasti Chernogo mora [Simulation of the inflow-outflow oscillations of the sea water level in the ports of the North-Western part of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [Environmental safety of coastal and shelf zone and integrated usage of shelf resources]. Sevastopol: Marine Hydrophysical Institute of NASU, pp. 58-66. (in Russ.)
 2. Komorin, V.N. & Tuchkovenko, Yu.S. (2002). Ispol'zovanie chislennoy gidrodinamicheskoy modeli dlya prognoza sgonno-nagonykh kolebaniy urovnya mora v portakh severo-zapadnoy shel'fa Chernogo mora [The Use of a Numerical Hydrodynamic Model for Forecasting Wind Fluctuations of the Sea Level at the Ports in the North-Western Shelf of the Black Sea]. *Meteorologiya, klimatologiya ta hidrolohiya* [Meteorology, Climatology and Hydrology], 46, pp. 324-331. (in Russ.)
 3. Volcinger, R.V. & Piaskovskii R.V. (1977). *Teoriya melkoy vody. Okeanologicheskie zadachi i chislennyye metody* [The shallow-water theory. Oceanological Problems and Numerical Methods]. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ.)
 4. German, V.Kh. & Levikov, S.P. (1988). *Veroyatnostnyy analiz i modelirovanie kolebaniy urovnya mora* [Probability Analysis and Simulation of Oscillations of the Sea Level]. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ.)
 5. Blatov, A.S., Bulgakov, N.P., Ivanov, V.A. et al. (1984). *Izmenchivost' gidrofizicheskikh poley Chernogo mora* [Variability of Hydrophysical Fields of the Black Sea]. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ.)
 6. The GFS Atmospheric Model. Available at: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/moorthi/gam.html> (Accessed: 15.10.2017).
 7. NOAA. National Weather Service. Environmental Modeling Center. Available at: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/GFS/.php> (Accessed: 11.11.2017).
 8. Lui, S.K. & Leendertse, J.J. (1978). Multidimensional numerical modeling of estuaries and coastal seas. *Adv. Hydrosci.*, 11, pp. 95 - 164.
 9. NOAA. Global Forecast System (GFS). GFS Analysis. Available at: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>. GFS-ANL 004 (0.5°). Available at: <https://nomads.ncdc.noaa.gov/data/gfsanl/...> (Accessed: 15.07.2016)
 10. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive. Available at: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/#!access> (Accessed: 21.10.2017).
 11. *Nastavlenie po sluzhbe prognozov* [Guidance for the Forecasting Service]. Section 3, Part 3: *Sluzhba morskikh gidrologicheskikh prognozov* [The Service for Marine Hydrological Forecasts]. (2011). Russian Hydrometeorological Service. (in Russ.)

SIMULATION MODELLING OF WIND-INDUCED SEA LEVEL FLUCTUATIONS AT THE PORTS OF THE ODESA REGION IN THE NORTH-WESTERN PART OF THE BLACK SEA

Yu. S. Tuchkovenko

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, tuch2001@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>

The paper is devoted to discussion of the prospects of simplified 2D hydrodynamic model use aimed at forecasting the wind-induced sea level fluctuations within the area of sea ports (Chornomorsk, Odesa and Yuzhnyi) of the Odesa Region in the North-Western part of the Black Sea. Spatio-temporal variability of wind conditions at the sea-atmosphere division is specified based on the data of the global numerical weather prediction model of the Global Forecast System (GFS). The research includes the description of the mathematical structure of the hydrodynamic model and the results of its adaptation to the conditions of the simulated sea area. It presents the results of model verification in the version which implies adoption of wind data from the archives of GFS-analysis and GFS-forecasts for 2010, 2016 and 2017.

The verification was performed by comparing wind-induced denivelations of the sea level at the ports of Chornomorsk, Odesa and Yuzhnyi calculated over the course of modelling and those established on the basis of observational data (with the discreteness of 6 hours). A quantitative assessment of the calculation accuracy was performed for the cases where, according to the

observational data, level denivellations exceeded the value of the standard deviation for the entire series. New series of the observed and calculated model-based significant wind-induced denivellations of sea level were formed for each of the ports from the sets of samples that met this condition. Using these series estimates of the mean square error of the calculations, allowable error of calculations, correlation coefficient between the actual and calculated values of the level denivellations, the probability of the calculation method under the allowable error were obtained. It was established that in the case of use of the data from wind GFS-analysis (with spatial resolution of 0.5° both latitudinally and longitudinally) over the course of modelling the probability of calculation of significant sea level denivellation constitutes 84-85%, and in case of using the data from the GFS-archive of wind forecasts (with spatial resolution of 0.25°) – 88-91%.

This allowed making a conclusion that the model has good prospects of use for operational forecast of the sea level fluctuations caused by storm wind in the version implying assimilation of the predicted information on the spatio-temporal variability of wind conditions obtained by means of the GFS global weather forecast model.

Keywords: North-Western part of the Black Sea, wind-induced sea level fluctuations, simulation modelling, verification.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СГОННО-НАГОННЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В ПОРТАХ ОДЕССКОГО РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Ю. С. Тучковенко

*Одесский государственный экологический университет, ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина,
tuch2001@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>*

Статья посвящена обсуждению перспектив использования упрощенной 2-D гидродинамической модели для прогнозирования инициированных ветром сгонно-нагонных колебаний уровня моря в районах морских портов (Черноморск, Одесса, Южный) Одесского района северо-западной части Черного моря. Пространственно-временная изменчивость ветровых условий на границе раздела «море-атмосфера» задается на основе данных глобальной численной модели прогноза погоды GFS (Global Forecast System). Приведено описание математической структуры гидродинамической модели и результатов ее адаптации к условиям моделируемой области моря. Представлены результаты верификации модели в варианте с усвоением данных о ветре из архивов GFS-анализа и GFS-прогнозов за 2010, 2016 и 2017 гг. Верификация выполнялась путем сравнения рассчитанных при моделировании и установленных на основе данных наблюдений (с дискретностью 6 часов) вызванных ветром денивеляций уровня моря в портах Черноморск, Одесса, Южный. Количественная оценка точности расчета выполнялась для случаев, когда денивеляции уровня по данным наблюдений превышали значение среднеквадратического отклонения всего ряда. Из наборов выборок, соответствующих этому условию, были сформированы новые ряды наблюдаемых и рассчитанных по модели значительных сгонно-нагонных денивеляций уровня моря в каждом из портов. С использованием этих рядов были получены оценки средней квадратической ошибки расчетов, допустимой ошибки расчетов, коэффициента корреляции между фактическими и рассчитанными величинами денивеляций уровня, обеспеченности метода расчета при допустимой ошибке расчетов. Установлено, что в случае использования при моделировании данных GFS-анализа ветра (с пространственной разрешающей способностью $0,5^\circ$ по широте и долготе) обеспеченность расчета значительных денивеляций уровня моря составляет 84-85%, а при использовании данных GFS-архива прогнозов ветра (с пространственной разрешающей способностью $0,25^\circ$) – 88-91%. Сделан вывод о том, что модель имеет хорошие перспективы использования для оперативного прогноза вызванных штормовым ветром колебаний уровня моря, в варианте с ассимиляцией прогностической информации о пространственно-временной изменчивости ветровых условий, получаемой при помощи глобальной модели прогноза погоды GFS.

Ключевые слова: северо-западная часть Черного моря, сгонно-нагонные колебания уровня моря, имитационное моделирование, верификация.

Подання до редакції : 07. 03. 2019

Надходження остаточної версії : 18. 03. 2019

Публікація статті : 30. 05. 2019

УДК 502:1:502.63

SWOT-АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ УРБАНІЗОВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ (НА ПРИКЛАДІ МІСТА ОДЕСА)

Т. А. Сафранов, В. Ю. Приходько, Т. П. Шаніна, К. Д. Гусєва

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,
safranov@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0928-521>

Урбанізовані території характеризуються концентрацією техногенних джерел забруднення, а їх функціонування є головним чинником зміни довкілля. Проведення комплексної оцінки якості природного середовища, дослідження екологічної складової міста та його впливу на умови проживання населення дає змогу спрямувати управління екологічною ситуацією таким чином, аби досягти оптимально можливого стану саме природної складової урбанізованих територій. Одеса – це велике багатофункціональне місто, антропогенне навантаження на яке є вкрай різноманітним, що зумовлює формування несприятливої екологічної ситуації. Метою роботи є надання SWOT-аналізу екологічної складової міста Одеси. Для досягнення цієї мети проаналізовані основні природні і антропогенні фактори, які є причиною формування екологічної ситуації на території Одеси. SWOT-аналіз полягає у виявленні сильних (*S*) і слабких (*W*) сторін внутрішнього середовища об'єкта дослідження, можливостей (*O*) і загроз (*T*) зовнішнього середовища, а також встановлення зв'язків між ними. У випадку міських систем сильними сторонами є різні екологічно позитивні ситуації, можливості та властивості міста, а слабкими сторонами – нагальні екологічні проблеми. Можливості зовнішнього середовища – це природний потенціал прилеглих територій, а також екологічно позитивні соціально-економічні умови регіонального і національного рівнів. Загрозами зовнішнього середовища є чинники, які спроможні завдати шкоди навколишньому середовищу міста і зумовити погіршення екологічної ситуації в ньому. В роботі проаналізовані існуючі екологічні проблеми, а це: високий рівень забруднення повітряного басейну викидами від пересувних і стаціонарних джерел забруднення; забруднення морського середовища скидами забруднюючих речовин у складі стічних та інших зворотних вод і поверхневим стоком з території міста; незадовільний стан водопровідної і каналізаційної мереж; недостатня якість питних вод з поверхневих та підземних джерел водопостачання; забрудненість ґрунтового покриву важкими металами, нафтопродуктами та іншими поллютантами; недостатній рівень озеленення окремих районів міста і незадовільний стан в них зелених насаджень; формування техногенних ґрунтових вод і підтоплення значної частини території міста та розвиток небезпечних екзогенних геологічних процесів; наявність джерел акустичного і електромагнітного забруднення; незадовільний стан управління та поводження з відходами виробництва та споживання; наявність екологічно небезпечних промислових об'єктів; незадовільний стан здоров'я жителів міста; низький рівень екологічної культури населення. На підставі аналізу внутрішніх (сильних і слабких сторін) і зовнішніх (можливостей і загроз) чинників запропонований комплекс заходів щодо поліпшення екологічної ситуації у місті Одеса.

Ключові слова: урбанізована територія, міське середовище, екологічні проблеми, SWOT-аналіз

1. ВСТУП

Урбанізовані території є окремими джерелами забруднення та є одним із головних чинників зміни довкілля. Поєднання уявлень про стан та якість навколишнього середовища урбанізованих територій спирається на вивчення найбільш

вразливої її складової – природної, всі компоненти якої є індикаторами антропогенних впливів на міське середовище. Визначення комплексної оцінки якості природного середовища урбанізованого утворення та його впливу на умови проживання населення дає змогу спрямувати управління соціальною складовою задля її функціо-

нування таким чином, щоб досягти оптимально можливого стану саме природної складової урбанізованих територій. Але Одеса – це не тільки велике багатофункціональне місто, антропогенне навантаження якого є вкрай різноманітним, але й територія, що зумовлює формування несприятливої екологічної ситуації. *SWOT*-аналіз (*Strengths* – сильні сторони, *Weaknesses* – слабкі сторони, *Opportunities* – можливості, *Threats* – загрози) є одним із інструментів оцінки стану і якості міського середовища. Причому, екологічні аспекти міста враховуються паралельно з економічними, демографічними, географічними, соціальними, інфраструктурними та іншими факторами. Ось чому *SWOT*-аналіз екологічної складової навколишнього середовища міста Одеса є актуальною задачею.

Метою роботи є надання *SWOT*-аналізу екологічної складової навколишнього середовища міста Одеса. Для досягнення цієї мети проаналізовані основні природні і антропогенні фактори, які є причиною формування екологічної ситуації на території Одеси.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Безперечно, що одним із сучасних інструментів стратегічного менеджменту, який використовується для формування природоохоронної стратегії міста або регіону, є *SWOT*-аналіз. Нагадаємо, що *SWOT*-аналіз полягає у виявленні сильних (*S*) і слабких (*W*) сторін внутрішнього середовища об'єкта дослідження, можливостей (*O*) і загроз (*T*) зовнішнього середовища, а також встановлення зв'язків між ними [1].

У випадку міських систем сильними сторонами є різні екологічно позитивні ситуації, можливості і властивості міста, слабкі ж сторони – це наявні екологічні проблеми. Можливості зовнішнього середовища – це природний потенціал навколишніх територій, а також екологічно позитивні соціально-економічні умови регіонального і національного рівнів. Загрозами зовнішнього середовища є чинники, які спроможні завдати шкоди навколишньому середовищу міста і зумовити погіршення екологічної ситуації в ньому.

SWOT-аналіз надає можливість визначити сильні й слабкі сторони екологічної ситуації в місті, а також виявити можливості й загрози, які можуть безпосередньо впливати на екологічну ситуацію [2].

Дослідження внутрішнього середовища дає змогу дослідити екологічну ситуацію в місті з виявленням екологічних проблем та переваг, що

сприятимуть формуванню довкілля належної якості.

Окреслення можливостей і вивчення загроз зовнішнього середовища дають змогу, у поєднанні з факторами внутрішнього середовища, визначити основні шляхи вирішення виявлених екологічних проблем або, навпаки, визначити потенціал їх посилення під дією зовнішнього середовища. Це наочно продемонстровано на прикладі Білгород-Дністровського Одеської області [2], Горішніх Плавнів і Кременчука Полтавської області [3, 4] та інших міст України.

SWOT-аналіз широко використовується для стратегічного планування розвитку міст і в ряді інших країн.

Методологічну основу роботи складає процедура *SWOT*-аналізу, що адаптована до оцінки екологічних аспектів функціонування міста [2]. Процедура *SWOT*-аналізу зводиться до чотирьох ключових положень: 1) огляду внутрішніх і зовнішніх факторів в розрізі *SWOT*-аналізу; 2) формуванню переліку ранжированих за рівнем важливості внутрішніх і зовнішніх факторів екологічної складової міста; 3) побудові матриці *SWOT*-аналізу, яка дозволяє визначити взаємозв'язки між розглянутими внутрішніми і зовнішніми факторами; 4) аналізу комбінацій факторів, як у кожному секторі, так і у всій матриці *SWOT*-аналізу. В табл. 1 наведена характеристика кожного із секторів матриці *SWOT*-аналізу.

Проводячи *SWOT*-аналіз Одеси, нами розглядалися показники, що характеризували не тільки екологічну, але й соціально-економічну ситуацію в місті [5]. Причому, екологічна складова міського середовища обмежувалася лише характеристикою сильних і слабких сторін. Зауважимо, що у вказаній роботі не наведено жодного показника, який би характеризував можливості і загрози зовнішнього середовища.

В результаті вивчення основних існуючих чинників впливу на стан довкілля Одеси, К. Д. Гусєвою [6] також проведено дослідження екологічних факторів та перспектив розвитку міста з позиції *SWOT*-аналізу. Були охарактеризовані деякі сильні (*S*) і слабкі (*W*) сторони внутрішнього середовища об'єкта дослідження, а також можливості (*O*) і загрози (*T*) зовнішнього середовища.

Однак слід зазначити, що навіть даний перелік сильних і слабких сторін внутрішнього середовища, можливостей і загроз з боку зовнішнього середовища не дозволяють детально охарактеризувати екологічну ситуацію на такій досить складній урбанізованій території.

Таблиця 1 – Матриця SWOT-аналізу

	Можливості (O)	Загрози (T)
Сильні сторони (S)	«SO» до цього сектору потрапляють комбінації чинників, які дозволяють застосувати сильні сторони міста для реалізації сприятливих можливостей; такі стратегії спрямовані на посилення позитивних екологічних факторів. Даний сектор представляє стратегії екологічного розвитку міста	«ST» містить стратегії, які характеризують можливості міста протистояти зовнішнім факторам, що здатні посилювати екологічні проблеми та погіршувати стан довкілля. Ці стратегії характеризують потенціал опірності до зовнішніх несприятливих впливів
Слабкі сторони (W)	«WO» комбінації факторів сектора характеризують напрями щодо вирішення існуючих екологічних проблем завдяки зовнішнім можливостям. Даний сектор містить стратегії внутрішньої екологічної політики міста	«WT» містить комбінації факторів, що характеризують екологічні проблеми, які можуть бути посилені під впливом зовнішніх обставин. Цей сектор характеризує найбільш вірогідні напрями розвитку несприятливої екологічної ситуації

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Авторами розглянуті існуючі екологічні проблеми Одеси (табл. 2).

Однак, можливо, що перелік цих екологічних проблем не відображає усю різноманітність природно-антропогенних умов у межах урбанізованої території, але вони досить докладно характеризують стан атмосферного повітря, природних вод, ґрунтового-рослинного покриву, геологічного середовища, акустичних та електромагнітних полів тощо.

Крім того, недостатньо обмежуватися переліком екологічних проблем без урахування характеристики їх сучасного стану та можливих шляхів вирішення.

За даними спостережень за якістю атмосферного повітря м. Одеса у 2016 р. встановлені такі середньорічні концентрації та максимальні разові концентрації (у дужках) забруднюючих речовин (ЗР) в атмосферному повітрі (в одиницях ГДК): пил – 1,6 (2,4); сажа – 1,7 (1,7); CO – 1,2 (1,8); NO_2 – 1,7 (0,7); H_2S – 0,0 (1,9); C_6H_5OH – 1,7 (1,3); HF – 1,5 (0,9); CH_2O – 4,5 (1,1). Значення індексу забруднення атмосфери (ІЗА) – 11,44 [7]. За даними Центральної геофізичної обсерваторії імені Б. Срезневського (2018 р.), за значенням комплексного ІЗА Одеса належить до п'ятірки найбільш забруднених міст України (Маріуполь – 13,6, Одеса – 13,1, Луцьк – 12,2, Кам'янське – 11,9, Дніпро – 11,8). Мережа 8 стаціонарних постів спостережень (СПС)

Таблиця 2 – Основні екологічні проблеми міста Одеса

- 1 Високий рівень забруднення повітряного басейну викидами від пересувних і стаціонарних джерел забруднення.
- 2 Забруднення морського середовища скидами забруднюючих речовин у складі стічних та інших зворотних вод і поверхневим стоком з території міста.
- 3 Незадовільний стан водопровідної і каналізаційної мереж.
- 4 Недостатня якість питних вод з поверхневих та підземних джерел водопостачання.
- 5 Забрудненість ґрунтового покриву важкими металами, нафтопродуктами та іншими політантами.
- 6 Недостатній рівень озеленення окремих районів міста і незадовільний стан в них зелених насаджень.
- 7 Формування техногенних ґрунтових вод і підтоплень значної частини території міста та розвиток небезпечних екзогенних геологічних процесів.
- 8 Наявність джерел акустичного і електромагнітного забруднення.
- 9 Незадовільний стан управління та поводження з відходами виробництва та споживання.
- 10 Наявність екологічно небезпечних промислових об'єктів.

охоплюють, в основному, центральну та північну частину Одеси, а 23 маршрутні пости розташовані по всій території міста.

Але більшість СПС розташовані на ділянках, що знаходяться під потужним впливом стаціонарних і пересувних джерел забруднення атмосферного повітря і тому середні значення ІЗА не надають реального уявлення про різницю між техногенно-напруженими і селитебно-рекреаційними зонами (відповідно 25% і 75% площі міської території). Тому мережа СПС за якістю атмосферного повітря у м. Одеса повинна бути осучаснена і оптимізована. Крім того, перелік ЗР, за якими проводяться спостереження в Одесі, не відповідає актуальним потребам, а саме: відсутнє розподілення твердих частинок (ТЧ) на діаметр 10 мкм і менше (ТЧ10) та діаметр 2,5 мкм і менше (ТЧ2.5). Поза увагою звичайно залишається низка шкідливих ЗР (As, Cd, Hg, Ni, поліциклічні ароматичні вуглеводні, леткі органічні сполуки) [8]. У ЄС програма спостережень базується на порогових рівнях, перевищення яких визначає необхідність впровадження певного виду моніторингу. Це дає можливість не вимірювати велику кількість речовин, зосередившись натомість на ключових ЗР. Удосконалення потребують також методи вимірювання концентрацій ЗР, за яким проводяться спостереження на даній час в Одесі. Більшість стаціонарних джерел по спостереженню за забрудненням атмосферного повітря розташовані з навітряного боку, а це негативно відображається на показниках стану повітряного басейну історичної і селитебних частин міста. Якщо рівень екологічної безпеки стаціонарних джерел забруднення можна підвищувати за рахунок удосконалення повітряно-охоронних заходів та технологічних процесів, упорядкування конфігурації санітарно-захисних зон і т. д., тоді домінування пересувних джерел забруднення повітряного басейну ускладнює ситуацію, оскільки ці заходи слід застосовувати до великої кількості автотранспортних засобів.

В Одесі впроваджена комбінована система водовідведення з децентралізованою схемою. Місто поділено на 3 басейни водовідведення: Північний, Південний і житловий масив Котовського. У Північному районі відведення побутових, виробничих і поверхневих стічних вод (СВ) здійснюється загальносплавним способом у Південному районі – повним роздільним, у житловому масиві Котовського – неповним роздільним. Випуски поверхневих СВ, до складу яких входять дощові, снігові, поливно-мийні, а

також СВ комунального господарства, які в разі аварійних ситуацій стають поверхневими, розташовані у прибережній смузі Чорного моря, більша частина якої є рекреаційною. Якість морського середовища прибережної зони (ПЗ), формується під впливом берегових антропогенних джерел забруднення, серед яких одним із головних чинників є поверхневі стічні води, що надходять із забудованої території міста. Акваторія Одеського регіону, куди скидаються дренажні води від системи протизсувних споруд, використовується для суспільних потреб. Морське середовище на цій ділянці експлуатується населенням в лікувально-оздоровчих цілях – таласотерапії, відпочинку тощо. Основними джерелами забруднення прибережної смуги є скидання СВ станціями біологічної очистки (СБО) «Північна» та «Південна», а також скидання незнезаражених зливових вод. Існує 8 місць випуску СВ пром підприємствами і здійснюються вони у 20-30 м від урізу води та зосереджені у північній частині затоки (район Пересипу). Внаслідок недостатньої пропускної спроможності колекторів в районі Пересипу щодня в акваторію скидається до 20 тис. м³ СВ міста. У результаті обстеження зливових стоків як джерела забруднення ПЗ, встановлено, що вони містять великий спектр ЗР: нафту і нафтопродукти (НП), поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), поліхлорбіфеніли (ПХБ), синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), біогенні сполуки, іони важких металів (ВМ), отрутохімікати тощо. Домінуючими ЗР портових акваторій є НП і C_6H_5OH . Як показали результати спостереження за акваторією Одеського регіону, зливі стоків є потужним джерелом забруднення. У прибережну акваторію Чорного моря в районі Одеси тільки через один зливовий випуск, розташований на 16 станції Великого Фонтану, протягом року потрапляли 1 т НП, близько 3 т СПАР, 3,8 т іонів амонію, 2,5 т фосфат-іонів, а також значна кількість іонів ВМ та завислих речовин. При скиданні незнезаражених зливових стоків у морську воду потрапляє патогенна мікрофлора. Бактеріальне забруднення тісно пов'язане із збагаченням вод органічною речовиною, яка використовується мікроорганізмами для зростання і розмноження. У санітарному відношенні зливі стоків за значенням колі-індексу, вмісту сальмонел і стрептококів відносять до вкрай несприятливих і прирівнюють до СВ міської каналізації – джерела фекального забруднення. У зливових випусках Одеси відзначений високий вміст патоген-

них мікроорганізмів (колі-індекс 1,285 млн. клітин/дм³) [9].

Області Північно-Західного Причорномор'я мають найбільш зношену водопровідну систему, що провокує високий рівень вторинного забруднення питної води. Важливою проблемою водопровідних систем є погіршення їх технічного стану, що призводить, як наслідок, до зниження ефективності та підвищення втрат води, зростає кількість випадків проривів на трасах водопостачання та наявність значних витоків. Втрати води у розподільчих мережах, в середньому, коливаються в межах 30-50 % від загального об'єму, що подається в мережу. Показник втрат води у міських мережах є надто високим і знаходиться в межах 0,4-3,0 м³/км/год, в порівнянні з показниками у Західній Європі, які становлять 0,1-0,4 м³/км/год [10, 11]. При загальній протяжності усіх водопровідних комунікацій м. Одеса у 1917 км, в аварійному стані знаходяться і потребують перекладання більше 386 км з них. В основному трубопровід виготовлено із чавуну – 59%, зі сталі – 37%, залізобетону – 2,5%, азбестоцементу – 1%, пластику – 0,46%. Висока зношеність магістральних і розподільчих мереж – головна проблема в системі водопостачання міста. Процеси корозії, заростання, вимивання матеріалу труб, формування біоплівки та осадів переважають у водопровідних мережах, при прокладанні яких було, в свій час, застосовано металеві труби. Чуттєве погіршення якості питної води відбувається, насамперед, у водопровідній та внутрішньодомових мережах, технічний стан яких на багатьох ділянках не відповідає вимогам санітарно-гігієнічної безпеки. Водовідведення забезпечує міська каналізація, що спрямовує СВ від споживачів міста Одеси на каналізаційні очисні спорудження СБО «Північна» і СБО «Південна». Каналізаційні випуски житлових будинків виконані, в основному, з керамічних і чавунних труб. Матеріали, з яких виготовлені напірні трубопроводи, а це сталь і залізобетон, мають діаметр 600-1400 мм. Каналізаційні мережі зазвичай прокладені на глибині 2-13 м. Колектори виготовлені із бетону, залізобетону, природних каменів. Термін експлуатації каналізаційної мережі коливається в межах 30-140 років. Довжина каналізаційної мережі м. Одеса становить 689,319 км. Місця випуску СВ з будинків виходять у безнапірні колектори, по яких стоки спрямовують на каналізаційні насосні станції (КНС). Більше 100 насосів, які розташовані на 26 КНС перекачують до 465 тис. м³/д СВ на дві СБО («Північну» і «Південну»).

Водопостачання міста забезпечує ТОВ «Ін-

фокс» (філія «Інфоксводоканал») через централізований водовід та локальні системи водопостачання деяких промислових підприємств. Поверхневим джерелом водопостачання є ріка Дністер, розташована на відстані 40 км від міста. Очищення води здійснюється на водоочисній станції (ВОС) «Дністер», потужність якої 840 тис. м³/д. Вода річки Дністер не вважається питною, її можна віднести до джерел 2 класу. На ВОС «Дністер», розташованій біля смт Біляївка, застосовуються такі основні технологічні лінії очищення води як відстоювання, коагулювання, фільтрування та хлорування. Подача води до м. Одеса виконується сьомою зональними станціями, на яких проводиться вторинне хлорування води. В цілому, якість питної води вважається задовільною, проте існує невідповідність вимогам до якості питної води централізованого постачання за залишковим вільним хлором, запахом і кольоровістю. Оскільки проводиться хлорування води, то наявність хлорорганічних сполук не виключена, а це підвищує екологічну небезпечність вод системи централізованого водопостачання.

Альтернативним джерелом водопостачання Одеси є підземні води (ПВ) верхньосарматського водоносного горизонту (ВГ), який залягає на глибинах приблизно 120-130 м. ПВ після очищення подаються споживачам через 15 буюетних комплексів. Для вод буюетних комплексів характерні відхилення від нормативних значень практично по всіх показниках збалансованості мінерального складу питних вод. Однак, після очищення, у буюетній воді істотно знижуються концентрації Ca^{2+} , Mg^{2+} і Na^{+} , а це ще додатково провокує розвиток захворювань, зумовлених дефіцитом цих елементів. Шляхом додаткового очищення ПВ проблема збалансованості мінеральних компонентів питних вод вирішується лише частково, а в деяких випадках навіть посилюється; концентрація фторидів у питних водах не досягає рівня мінімально необхідного рівня [12].

Територія Одеси за ландшафтно-геохімічним районуванням умовно поділяється на північну частину, Пересип, центральну частину і південно-західну частину. Середній вміст Pb , Zn , Mo , Cr у всіх зонах перевищує допустиме значення, причому вміст Pb – у 3 рази. Особливо високе забруднення ґрунтів Sr спостерігається у промисловій зоні Одеси (можливо, цим і пояснюється високий рівень вмісту Sr у волоссі жінок, обстежених під час проведення спеціальних медико-екологічних досліджень) [13].

Зазначимо, що промисловими підприємствами міста щорічно викидається до 40 тис. т ЗР на

рік, у т. ч. і ВМ (*Pb, Sn, Zn, Mo, Cr*). Найбільшим забрудненням характеризується район Пересипу, найменшим – рекреаційна (приморська) зона. Значна частина території міста (69%) має середнє значення сумарного показника забруднення (СПЗ), який знаходяться в межах від 16 до 32; екологічна небезпека їх визначається як помірно-небезпечна. Сильне забруднення (СПЗ = 32-64), що складає 8 % від загальної території міста, виявлено в районах промислової зони (Пересипу, вул. Суворова, судноремонтного заводу, суперфосфатного заводу, заводу Січневого повстання, канатного заводу і ін.). Ділянок із сильним і дуже сильним (СПЗ = 64-128) забрудненням нараховується 25. Ці осередки вважаються екологічно небезпечними територіями.

Незважаючи на економічний спад останніх років, який скоротив загальний викид ЗР промисловими підприємствами практично вдвічі, різко зріс об'єм валових викидів від автомобільного транспорту, перемістивши акценти забруднення з промислових зон у райони транспортних магістралей, а також житлові райони міста. Практично увесь спектр шкідливих сполук осідає на земну поверхню і накопичуються в ґрунтах, створюючи підвищений рівень їхнього забруднення. На рівень забруднення ґрунтів впливає неупорядковане розміщення токсичних промислових відходів, що утворюються в результаті діяльності промислових підприємств міста. Слід констатувати, що 46 із 200 промислових підприємств Одеси продукують відходи 1-2 класів небезпечки.

Площа зелених насаджень міста становить 742 га, що у розрахунку на 1 жителя міста складає 7,4 м²/особу і становить для міста 61,7% проти діючого в державі нормативу у 2-12 м²/особу для міст рівня Одеси [14]. За даними Департаменту екології та розвитку рекреаційних зон Одеської міської ради, найбільш озелененими є Малиновський і Київський райони, в основному, за рахунок приватного сектору. У Приморському і Суворовському районах кількість зелених зон значно менша. При цьому, якщо в центрі міста на кожного мешканця припадає близько 4 м² зелених насаджень в середньому (при нормі в 12 м²), то в великих житлових масивах на душу населення припадає не більше 1 м² насаджень. На деяких ділянках Суворовського району і в місці розташування аеропорту, в Малиновському районі, питома кількість зелених насаджень ще менша. Наприклад, у Суворовському районі Одеси, кількість зелених насаджень на одного жителя становить лише 17% від національного нормативу. Слід зауважити, що ВООЗ в якості

необхідної норми для забезпечення здоров'я населення пропонує ще більш високу цифру – 50 м² на одного міського жителя.

Зазначимо, що якщо у видовому складі флори міста задіяно менше 10 видів аборигенних деревно-чагарникових рослин, а в озелененні міста зазвичай використовується близько 800 видів і форм, завезених з інших країн і континентів, які є декоративними, і в той же час добре переносять забруднення повітря і мощення вулиць, спроможні вловлювати пил і шкідливі гази. Оскільки жіночі особини тополі продукують пух, то доцільно використовувати в озелененні міста лише чоловічі екземпляри. Серед наявних близько 900 видів трав'янистої рослинності, більш третини складають бур'яни. Частина їх під час цвітіння є алергеном (наприклад, амброзія полинолиста). Тому для акумуляції шкідливих домішок пропонується висаджувати також стійкі сорти деревно-чагарникових рослин. Т. В. Васильєва та ін. [15] обґрунтовують необхідність дбайливого ставлення до рослин, підбору правильного їх асортименту, а також якісного проведення робіт по догляду за ними. Ґрунтуючись на дослідженні А. С. Бонєцького та ін. [16], з метою нейтралізації низки шкідливих домішок у міському повітрі, можна рекомендувати висаджування таких чагарниково-деревних рослин, як каштан кінський, вишня повстяна, платан західний, плоскогілочник східний, кедр атласький, а також ефіроолійні рослини-терпенопродуценти.

В межах території Одеси знаходиться пам'ятки природи загальнодержавного значення (Одеські катакомби, ботанічний сад ОНУ імені І. І. Мечникова, Одеський зоологічний парк), також місцевого значення (ботанічні пам'ятки, пам'ятки садово-паркового мистецтва тощо) [17].

Одним із найбільш небезпечних процесів, що широко поширені на досліджуваній території та які обумовлені техногенною діяльністю, є підтоплення. Підтопленням ґрунтовими водами (ГВ) вважається комплексний процес, коли порушується водний режим і баланс територій, підвищується рівень ПВ за розрахунковий період часу до граничних його значень, за якими порушуються норми будівництва й експлуатації будинків та споруд, потерпають санітарно-екологічні умови помешкань людей, наноситься шкода землям сільськогосподарського призначення тощо. Підтоплення забудованих територій прийняло на теперішній час практично загальноміський характер. На більшій його частині ГВ постійно або періодично (щорічно) скупчуються на критич-

них глибинах і ситуація в підтоплених районах (площа яких безперервно збільшується) погіршується з кожним роком. За даними Управління інженерного захисту території і розвитку узбережжя м. Одеса площа, на якій рівень ГВ залягає на глибині більше 10 м, займає 3 % території міста, на глибині 5-10 м – 26%, 3-5 м – 40% і менше 3 м – 31% від площі міста. Під більшою частиною території Одеси залягає пласт понтичних вапняків, які наділені значними колекторськими властивостями і розташовані на невеликій глибині. Така геологічна будова обумовила широке використання самоприпливного вертикального дренажу (свердловин), масове облаштування яких було розпочато наприкінці 1950-х років. На теперішній час на більш ніж 300 ділянках окремих будівель і споруд організовано більше 2500 таких свердловин. З огляду на те, що існуюча водознижуюча ефективність дренажних свердловин має локальний характер і не перевищує 2-4 м та складає 15-25% всієї потужності четвертинного ВГ на період до початку будівництва дренажних свердловин, гідрогеологічні умови продовжують погіршуватися. В наслідок скиду дренажних та побутових, різних за складом, вод в понтичні вапняки суттєво погіршилась якість понтичного ВГ, активізувались процеси суфозії, карстоутворення та руйнування підземних виробок у вапняках. Підйом рівня ГВ призводить також до погіршення фізико-механічних властивостей ґрунтів завдяки їх водонасиченню. Більшою мірою це відноситься до лесових ґрунтів, які широко використовуються як основа споруд, є оточенням підземних споруд, а також розповсюджені на зрошуваних масивах. В результаті перезволоження та підтоплення лесових масивів відбуваються просадки, а саме – зміна їх структури та зменшення об'єму. Це призводить до деформації і руйнування споруд, утворення нових зсувів та формування інших інженерно-геологічних процесів. Відомо, що змінення рівня ГВ і пов'язаних з цим явищ просідання в лесових породах, а також решта інженерно-геологічних умов, суттєво впливають на сейсмічну активність конкретних територій. Встановлено, що середня величина приросту сейсмічної інтенсивності території Одеси за рахунок змін локальних інженерно-геологічних умов, може складати 1 бал.

В зв'язку з інтенсифікацією антропогенної діяльності техногенний фактор на окремих територіях набуває домінуючого характеру. Прикладом такого впливу є чорноморська ділянка Одеського узбережжя. За даними первісної Генеральної схеми протизсувних заходів узбереж-

жя м. Одеси, датованої 1940 роком, ширина пляжів в районі північного флангу Чорноморської північної ділянки складала 20-25 м при потужності донних відкладів до 1,0 м. У наукових публікаціях початку 60-х років ХХ століття пляжі на цій ділянці описані як широкі і протяжні і такі, що добре збереглися. У картографічних додатках до Проекту протизсувних заходів третьої черги, розроблених інститутом «Одесакомунпроект», ширина пляжів на даній ділянці також складає 20-25 м, але при цьому середні (за період 1963-1977 рр.) величини потужності шару донного розмиву вже складають 0,05-0,1 м/рік. В цілому, за цей же період, по узбережжю в районі с. Чорноморка величини розмиву абразією ґрунтових мас знаходяться в діапазоні 6-50 м³/рік з 1 п.м. узбережжя. В останні роки ширина пляжу складає 1-7 м. Через забудови території плато спостерігається підйом ГВ та водонасичення лесових ґрунтів, активізувались зсувні деформації у прибережній частині плато, відбувається руйнування дренажних лотків, житлових будинків та інших споруд [18].

Шумове та електромагнітне забруднення досліджуваної території можна простежити по вихідних матеріалах до проектною документації, наданих ТОВ «Цивільпроект» та Одеською міською санітарно-епідеміологічною станцією (СЕС). Визначено, що основними джерелами шуму в Одесі є магістральна вулична мережа, залізниця та аеропорт «Одеса». Вимірювання рівнів шумового забруднення проводилось у 26 контрольних точках. Загалом фахівцями СЕС у 2012 р. було проведено 627 досліджень, із яких у 259 (41,3%) випадках спостерігалось перевищення нормативних значень, що супроводжувалося побутовими скаргами від населення. Аналіз акустичної ситуації вуличної мережі ґрунтується на даних обстеження інтенсивності руху вантажного та громадського транспорту в потоці, з урахуванням їх середньої швидкості. Встановлено, що рівень акустичного забруднення відчувається на відстані в межах 22-82 м і 100 м на об'їзній дорозі від лінії руху. Міська СЕС, що контролює рівень акустичного режиму вулично-дорожньої мережі (проводить заміри), фіксує постійне перевищення допустимих шумових характеристик.

Місто Одеса є також великим залізничним вузлом. Розрахунок, проведений фахівцями на перегонах, показав, що рівні акустичного забруднення знаходяться в межах 80-170 м від лінії руху. Ці параметри, які наводять працівники СЕС, є величиною постійною і будуть такою

залишатись на перспективу з можливістю їх зменшення на 10 %, можливо, за рахунок реконструктивних заходів.

Розрахунки акустичного впливу аеропорту «Одеса» визначені санітарним паспортом і співвідносяться із зонами обмеження забудови. З урахуванням сертифікації літаків та дотриманням вимог Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО), Повітряного Кодексу України, зона акустичного впливу обмежується 1,0 км від злітно-посадкової смуги та 0,4 км від торця по лінії «зліт – посадка».

Крім джерел акустичного забруднення, в місті налічуються об'єкти, що мають прояви електромагнітного забруднення довкілля. До даної категорії об'єктів, по-перше, належить система ліній електромереж високої напруги. По-друге, в місті розгалужена система із 26 основних трансформаторних підстанцій, що мають потужність від 35 до 330 кВ. Переважно ці трансформаторні підстанції наближені до виробничих територій та промислових зон. Усього ж, за даними міської СЕС, на території м. Одеса розташовано 664 об'єкти, які є джерелами електромагнітних випромінювань. Окрім того, в місті розташовані об'єкти радіотелевізійно-передавального призначення, робота яких повинна проводитись з урахуванням санітарних паспортів із визначеними СЗЗ. Ці зони, стосовно вказаних вище об'єктів, знаходяться в межах технічного відводу території. Також у місті існує розгалужена система радіотехнічних об'єктів «стільникового» супутникового зв'язку. Головним критерієм до розміщення є їх потужність та рівень підняття антен з урахуванням висотної суміжної забудови. Контроль за їх облаштуванням і експлуатацією забезпечується шляхом регулярних санітарно-технічних перевірок. Перевищень гранично допустимих рівнів (ГДР) за даним показником не виявлено [6]. На жаль, параметри акустичного й електромагнітного фону визначаються для Одеси епізодично, не за всіма необхідними параметрами і не на всій території.

Протягом 2014 р. на підприємствах Одеської області утворилось 34,7 тис. т відходів I–III класів небезпеки. На полігоні вивезено 3,19 млн. м³ (1,1 млн. т). Слід зазначити, що більша частина цих відходів належить підприємствам саме Одеської агломерації. До категорії надзвичайно небезпечних належать ртуть та ртутьовмісні відходи. Регіональний досвід показує можливість успішного вирішення проблеми ртутьовмісних відходів і, у першу чергу, люмінесцентних ламп. Так, для впорядкування поводження з відпрацьованими люмінесцентними лампами,

що належать до відходів I класу небезпеки з-за вмісту ртуті, на базі підприємств – ПП «Центр екологічної безпеки» та ТОВ «Грін-Порт», ТОВ «НБК Укрекопром» та ТОВ «Утільтворпром» створена система централізованого збирання, зберігання і вивезення на переробку цього небезпечного виду токсичних відходів. Однак, питання про централізоване вивезення ртутьовмісних відходів, яке вирішене у м. Одеса, у містах обласного підпорядкування та в районах області вирішено лише частково. В цілому ж, в Одеській області створені потужності з переробки, оброблення і утилізації небезпечних відходів. Всього в області експлуатуються шість комплексів з термічного знешкодження відходів, у т.ч. два інсинератори (ТОВ «Грін-Порт» та ПП «Центр екологічної безпеки») і одна піролізна установка (ТОВ «РАФ-ПЛЮС»), а також три установки по переробці нафтопродуктів з подальшим виробництвом пального палива (ТОВ «Еко-Сервіс»). Але існуючих на теперішній час потужностей недостатньо.

В межах Одеської агломерації, де проживає близько половини населення Одеської області, протягом року накопичується більше 1 млн. т ТПВ, це приблизно 3 м³/рік на кожного мешканця. Зростаючі обсяги утворення ТПВ є однією із складових прогресуючого антропогенного навантаження на довкілля і погіршення його якості. У той же час в Одесі практично не працює система роздільного збору та рециклінгу ТПВ і тому майже весь обсяг утворених ТПВ видається на полігон «Дальницькі Кар'єри», який не відповідає сучасним вимогам до місць захоронення ТПВ. Зокрема, станом на 2017 рік тут досі не обладнана система збору і утилізації біогазу. Площа полігону складає 96,2 га, рік початку експлуатації – 1974. На цей полігон з території Одеси та прилеглих населених пунктів ввозяться ТПВ та промислові відходи III і IV класів небезпеки, отже, проблема подальшого розміщення відходів вкрай ускладнюється надмірним навантаженням на полігон. Можливості для створення нових полігонів через несприятливі геолого-гідрогеологічні умови та дефіцит земельних ресурсів в прилеглих районах обмежені. Ступінь утилізації окремих компонентів ТПВ незначний, хоча існують потужності для переробки макулатури, відходів пластмас, скла, текстилю та зношених шин. В місті є ряд організацій, що займаються утилізацією окремих видів вторинної сировини: «Союз», «ТВ-Серрус» («Екоград») та «Еко-Ренессанс», ТОВ «ЕП «Вторма Одеса». Розроблено низку проектів зі збирання окремих видів вторсировини та небез-

печних відходів – «Місто майбутнього», збір батарейок в мережах супермаркетів АТБ, Watsons, прийом поліетиленових пакетів KIMS, прийом пластику на громадських засадах (наприклад, бар «Волна» приймає HDPE пластик). Також існує мережа прийому традиційної вторсировини – скла, макулатури, пластику. Отже, умови для підвищення ефективності відбору цінних та небезпечних компонентів з потоку ТПВ є, але на сьогодні, завдяки цим зусиллям, утилізується дуже незначна частка відходів.

Згідно «Державного реєстру об'єктів підвищеної небезпеки» [19] в Одесі є низка екологічно небезпечних промислових об'єктів: ТОВ «Компанія Квантум»; ТОВ «ВК-ІНВЕСТ 2005»; ТОВ «БІТ»; ТОВ «Катрал і К»; ТОВ «ПЕРША БРОКЕРСЬКА КОНТОРА»; ПрАТ «Виробниче об'єднання «Одеський консервний завод»; ТОВ «Торгово-виробниче підприємство «АЛЮР Агро»; ПАТ «ЕКСІМНАФТОПРОДУКТ»; ТОВ «ЕРА ЛОГІСТИК»; ФОП «Романюк І.В.»; ТОВ «Міжнародний аеропорт» Одеса»; ТОВ «Одеський олійнодобувний завод» тощо.

Слід зауважити, що екологічно небезпечні промислові об'єкти розташовані також в інших частинах Одеської промислово-міської агломе-

рації (наприклад, Одеський припортовий завод дислокується в місті Южному і у разі розливу аміаку і потрапляння його в атмосферу, зона небезпечного для життя ураження охопить все узбережжя Одеси, починаючи з Чорноморки, включаючи саму Одесу, Крижанівку, Фонтанку, Новодофіновку та місто Южний).

Несприятлива екологічна обстановка, що склалася в Одесі, не може не справляти негативного впливу на стан здоров'я його жителів. Наявність ЗР у питній водопровідній воді, поряд із забрудненням атмосферного повітря і ґрунтів, обумовлюють несприятливу медико-демографічну ситуацію в місті, для населення якого характерні онкологічні і гематологічні захворювання, розлади ендокринної системи, серцево-судинні і шлункові хвороби (дизентерія, гепатит). Санітарно-епідеміологічні дослідження [20] свідчать про те, що в останні роки зростає рівень інфекційної захворюваності.

В результаті вивчення основних існуючих факторів формування екологічної ситуації в м. Одеса з позицій *SWOT*-аналізу, нами сформований ранжований перелік основних факторів (табл. 3).

Таблиця 3 – Матриця *SWOT*-аналізу екологічної складової Одеси

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
1) розвинена система моніторингу за якістю довкілля; 2) наявність двох джерел для водопостачання міста: централізоване водопостачання за рахунок поверхневих вод (р. Дністер) та альтернатива йому – за рахунок підземних (артезіанських) вод; 3) наявність очисних споруд для очищення стічних вод міста; модернізація технології очищення; 4) централізована система збирання твердих побутових відходів та мережа пунктів прийому вторинної сировини, полігон твердих побутових відходів, розробка та впровадження Програми поводження з ТПВ в Одеській області на 2018-2022 роки; 5) контроль за промисловими відходами та наявність підприємств по їх утилізації, в т.ч. небезпечних відходів; 6) достатній рівень озеленення окремих частин міста; 7) захищеність домінуючої частини міста та схилів морського узбережжя від дії небезпечних геологічних процесів (ерозії, абразії, підтоплення); 8) наявність біокліматичних, гідромінеральних, грязелікувальних, таласотерапевтичних та інших природних рекреаційних ресурсів; 9) наявність об'єктів природно-заповідного фонду та збереження осередків аборигенної рослинності; 10) зосередження адміністративних і фінансових ресурсів на вирішення екологічних проблем міста; 11) відносно високий рівень екологічної свідомості у громадян та можливості його підвищення.	1) високий рівень забруднення повітряного басейну; 2) істотне домінування пересувних джерел забруднення повітряного басейну; 3) зношеність та незадовільний технічний стан водопровідної і каналізаційної мережі у окремих частинах міста; 4) недостатній рівень озеленення деяких частин міста, площі зелених насаджень загального користування, незадовільний стан дерев та наявність небажаних видів (джерел утворення тополиного пуху) та бур'янів (амброзія тощо); 5) підтоплення окремих ділянок міста та підвищення рівня сейсмічної небезпеки; 6) активізація небезпечних геологічних процесів і явищ; 7) погіршення здоров'я міського населення; 8) відсутність системи роздільного збору і ефективної утилізації ТПВ; 9) недостатньо висока ефективність очищення стічних вод на міських очисних спорудах; 10) відсутність системи очищення зливого стоку; 11) проблеми з технічним оснащенням та розміщенням мережі стаціонарних постів спостереження за якістю атмосферного повітря; 12) порушення меж санітарно-захисних зон окремих техногенних об'єктів та невідповідність їх нормативним значенням;

Продовження табл. 3

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
	13) порушення режиму ґрунтових і артезіанських вод (виснаження, забруднення) 14) недостатня якість вод поверхневих та підземних джерел водопостачання; 15) забруднення морських і лиманних вод скидами стічних та інших зворотних вод; 16) деградація ґрунтового покриву та його забрудненість поллютантами; 17) збільшення рівня шумового і електромагнітного забруднення.
Можливості (O)	Загрози (T)
1) зменшення забруднення повітряного басейну за рахунок перерозподілу та регулювання транспортних потоків, а також підвищення екологічності автотранспорту; 2) переорієнтація промислового виробництва на приміські території; 3) подальше удосконалення системи моніторингу довкілля; 4) стимулювання енергоефективності та ресурсоемності у виробництві та житлово-комунальній сфері, залучення використання альтернативних джерел енергії; 5) привертання додаткового фінансування до природоохоронних проектів; 6) значне реформування законодавства в галузі охорони довкілля; 7) використання близькості санаторно-курортних зон і зон відпочинку, що значно збільшить рекреаційно-туристичну привабливість міста; 8) участь в програмах державного значення; 9) використання можливостей проведення тренінгів та впровадження освітницьких проектів з охорони довкілля; 10) залучення можливостей міжрегіонального та міжнародного співробітництва до охорони довкілля; 11) висвітлення екологічних проблем у ЗМІ, пошуків роботи громадських організацій національного рівня.	1) зростання кількості пересувних джерел забруднення повітряного басейну (автомобільного, повітряного, залізничного та морського транспорту) як наслідок економічного розвитку та припливу населення у місто; 2) забруднення р. Дністер як джерела централізованого водопостачання міста; 3) обмежений територіальний ресурс щодо створення нових місць захоронення ТПВ та інших відходів; 4) надмірне реакційне навантаження в літні місяці; 5) наявність потенційно небезпечних техногенних об'єктів на території та поблизу міста; 6) розвиток небезпечних екзогенних геологічних процесів; 7) висока щільність населення в межах промислово-міської агломерації; 8) нестабільна політична ситуація, економічна стагнація, воєнні дії на частині території України; 9) виснаження запасів пластових підземних вод.

Аналіз комбінацій цих факторів дозволяє побудувати матрицю *SWOT*-аналізу, в якій змодельовані варіанти найбільш вірогідних та значущих комбінацій факторів (табл. 4).

4. ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1) проаналізовані екологічні проблеми Одеси не відображають усю різноманітність природно-антропогенних умов у межах міста, але вони характеризують основне: стан атмосферного повітря, природних вод, ґрунтово-рослинного покриву, геологічного середовища, акустичних та електромагнітних полів тощо;

2) на підставі аналізу та ранжування внутрі-

шніх (сильних і слабких сторін) і зовнішніх (можливостей і загроз) сформований комплекс першочергових факторів, попарний аналіз яких дозволяє визначити основні стратегічні напрямки розвитку м. Одеса з огляду на екологічну складову;

3) основні зусилля для поліпшення екологічної ситуації в місті мають бути спрямовані на охорону повітряного басейну, модернізацію систем водопостачання і водовідведення, удосконалення системи поводження з відходами виробництва та споживання, попередження розвитку небезпечних геологічних процесів в Одесі, де існують можливості та наявні ресурси задля вирішення екологічних проблем і поліпшення стану екологічної складової міста.

Таблиця 4 – Матриця SWOT-аналізу екологічної складової Одеси

«SO» Подальше удосконалення системи моніторингу довкілля та проведення природоохоронних програм із залученням зовнішніх інвестицій. Залучення додаткового потоку рекреантів з прилеглих до Одеси курортно-рекреаційних територій. Підвищення рівня екологічної свідомості громадян та створення умов для успішного запуску екопроектів різного спрямування.	«ST» Завдяки успішному фінансуванню умовам та адміністративному ресурсу створення передумов для попередження впливу зовнішніх загроз (за винятком проблеми пересувних джерел та ТПВ).
«WO» Зменшення техногенного навантаження на атмосферне повітря за рахунок перерозподілу транспортних потоків та збільшення кількості електротранспорту, розміщення промислового виробництва за межами міста. Залучення інвестування для вирішення екологічних проблем міста. Притягнення широкого кола громадськості до покращення екологічної ситуації у місті	«WT» Ймовірність виникнення техногенних аварій. Зростання забруднення атмосфери, зокрема, через збільшення кількості пересувних джерел та незадовільного стану зелених насаджень. Можливе посилення небезпечних геологічних процесів екзогенного характеру. Кризова ситуація з ТПВ та з модернізацією системи водовідведення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Немцов В. Д., Довгань Л. Є. Стратегічний менеджмент. Київ: «ЕксОб», 2001. 560 с.
2. Кориневская В. Ю. Анализ экологических аспектов развития городских систем. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2008. Вип. 5. С. 18-25.
3. Звіт про стратегічну екологічну оцінку стратегії розвитку міста Горішні Плавні до 2028 р. URL: https://ua.boell.org/sites/default/files/uploads/2017/11/zvit_seo_gorishni_plavni_ukr.pdf (дата звернення: 07.01.2019).
4. Звіт про стратегічну екологічну оцінку Стратегії розвитку міста Кременчук на період до 2028 року. URL: <https://www.google.com/search?q=4.+Звіт+про+стратегічну+екологічну+оцінку+Стратегії+розвитку+міста> (дата звернення: 07.01.2019).
5. Стратегія економічного та соціального розвитку міста Одеса до 2022 року /Одеська міська рада. Одеса: ТЕС, 2013. 80 с.
6. Гусева К. Д. Стан та якість навколишнього середовища урбанізованих територій (на прикладі міста Одеса): автореф. дис. ... канд. геогр. наук /Одеський державний екологічний університет. Одеса, 2018. 20 с.
7. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2016 році. Одеса, 2107. URL: <https://menr.gov.ua/files/docs/Reg.report.pdf> (дата звернення: 17.12.2018).
8. Висновки робочої групи щодо стану відповідності законодавства України у сфері якості атмосферного повітря вимогам права ЄС у сфері охорони довкілля. URL: <http://www.zhiva-planeta.org.ua/upload/standpovidnosti-zakonodavstva-ukraini-u-sferi-yakosti-atmosferного-povitrya.pdf> (дата звернення: 07.01.2019).
9. Стан та якість природного середовища Північно-Західного Причорномор'я: монографія /Одеський державний екологічний університет; за ред. Т. А. Сафранова, А. В. Чугай. Харків: ФОП Панов А.М., 2017. 298 с.
10. Гіроль М. М., Гіроль А. М., Хомко В. Є., Ковальський Д. Стан водопровідних мереж України та шляхи запобігання погіршенню якості питної води. URL: <http://polypipe.info/news/238-stanvodoprovodnuh-merezukraini> (дата звернення: 17.11.2018).
11. Крисінська Д. О. Проблеми первинного та вторинного забруднення питної води у Північному Причорномор'ї. *Наукові праці Чорномор. держ. ун-ту імені Петра Могили. Сер.: Техногенна безпека*. 2016. Т. 169. Вип. 157. С. 98-102.
12. Сафранов Т. А. Фізіологічна повноцінність мінерального складу питних вод як чинник формування здоров'я населення (на прикладі Одеської промислово-міської агломерації). *Медико-гідрогеохімічні чинники геологічного середовища України: монографія / за ред. проф. Г. І. Рудька*. Київ – Чернівці: Букрек, 2015. С. 294-315.
13. Засыпка Л. И. Характер и особенности загрязнения почвы г. Одессы. *Утилизация отходов, организация и контроль полигонов: материалы Международ. научно-практ. конф.*, 4-5 апреля. Одесса, 1999. С. 211-213.
14. Шевченко О. Г., Власюк О. Я. Оцінка вразливості та заходи з адаптації до зміни клімату. Одеса. URL: http://necu.org.ua/wpcontent/uploads/ad_Odesa_City_A4.pdf (дата звернення: 17.10.2018).
15. Растения как неотъемлемая часть и фактор улучшения городской среды /Т.В. Васильева и др. *Экология городов и рекреационных зон: материалы Международ. научно-практ. конф.*, 22-24 марта. Одесса, 1998. С. 31-34.
16. Итоги интродукции декоративных деревьев и кустарников в условиях ботанического сада и их использование в зелёном строительстве /Бонцкий А. С. и др. *Экология городов и рекреационных зон: материалы: Международ. научно-практ. конф.*, 22-24 марта. Одесса. 1998. С. 22-25.
17. Перелік територій і об'єктів природно-заповідного фонду Одеської області станом на 01.01.2018. URL: <http://ecology.odessa.gov.ua/perelk-teritorij-ta-obktv-prirodno-zapovdnogo-fondu-odesko-oblast-s> (дата звернення: 05.02.2019).

18. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2017 рік. URL: <http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/teritory/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2017-rik/> (дата звернення: 25.01.2018).
 19. Державний реєстр об'єктів підвищеної небезпеки. URL: <http://dsp.gov.ua/derzhavnyi-reiestr-obiektiv-pidvyshchenoi/> (дата звернення: 08.01.2019).
 20. Исследование риска экофакторов городской среды для здоровья населения / Л. М. Шафран и др. Экологические проблемы городов, рекреационных зон и природоохранных территорий : материалы Междунар. научно-практ. конф., 10-11 октября. Одесса. 2000. С. 337-340.
- REFERENCE**
1. Niemtsov V.D. & Dovhan L.Ie. (2001). *Stratehichnyi menedzhment [Strategic management]*. Kyiv: «EksOb». (in Ukr.)
 2. Korinevskaya V.Ju. (2008). Analiz ekologicheskikh aspektov razvitiya gorodskikh system [Analysis of the environmental aspects of the development of urban systems]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu. [Bulletin of Odessa State Environmental University]*, 5, pp. 18-25. (in Russ.)
 3. Zvit pro stratehichnu ekolohichnu otsinku stratehii rozvytku mista Horishni Plavni do 2028 roku [Report on Strategic Environmental Assessment of the City's Development Strategy for the Horishni Plavni up to 2028]. Available at: https://ua.boell.org/sites/default/files/uploads/2017/11/zvit_seo_gorishni_plavni_ukr.pdf (Accessed: 05.01.2019) (in Ukr.)
 4. Zvit pro stratehichnu ekolohichnu otsinku Stratehii rozvytku mista Kremenchuka na period do 2028 roku [Report on strategic environmental assessment of the Kremenchuk City Development Strategy for the period up to 2028.] Available at: <https://www.google.com/search?q=4.+Звіт+про+стратегію+екологічну+оцінку+Стратегії+розвитку+міста> (Accessed: 05.01.2019) (in Ukr.)
 5. Odessa City Council. (2013). *Stratehiia ekonomichnoho ta sotsialnoho rozvytku mista Odesy do 2022 roku. [The strategy of economic and social development of the city of Odessa until 2022]*. Odessa: TES. (in Ukr.)
 6. Husieva, K. (2018). *Stan ta yakist navkolyshnoho seredovyscha urbanizovanykh terytorii (na przykladi mista Odesa) [Status and quality of the environment of urban areas (for example, the city of Odessa)]*. Abstract of PhD in Geography. Odessa State Environmental University. (in Ukr.)
 7. Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Odeskii oblasti u 2016 rotsi [Regional report on the state of the environment of the Odessa Oblast in 2016]. Odessa, 2107. Available at: <https://menr.gov.ua/files/docs/Reg.report.pdf> (Accessed: 17.12.2018). (in Ukr.)
 8. Vysnovky robochoi hrupy shchodo stanu vidpovidnosti zakonodavstva Ukrainy u sferi yakosti atmosferного povitria vymoham prava ES u sferi okhorony dovkillia [Conclusions of the working group on the state of compliance of Ukrainian legislation in the field of air quality with EU environmental law requirements]. Available at: <http://www.zhiva-planeta.org.ua/upload/stan-vidpovidnosti-zakonodavstva-ukraini-u-sferi-yakosti-atmosferного-povitrya.pdf> (Accessed: 07.01.2019). (in Ukr.)
 9. Safranov, T.A. & Chuhai, A.V. (eds). (2014). *Stan ta yakist pryrodnoho seredovyscha Pivnichno-Zakhidnoho Prychornomoria. [Status and quality of the natural environment of the Northwest Black Sea]*. Odessa State Environmental University. Kharkiv: FOP Panov A.M. (in Ukr.)
 10. Hirol, M.M., Hirol, A.M., Khomko, V.Ye. & Kovalskyi, D. *Stan vodoprovodnykh merezh Ukrainy ta shliakhy zapobihannia pohirshenniu yakosti pytnoi vody [The state of Ukraine's water supply networks and ways to prevent the deterioration of drinking water quality]*. Available at: <http://polypipe.info/news/238-tanvodoprovodnykhmerezhukraini> (Accessed: 17.11.2018).
 11. Krysin'ska, D.O. (2016). Problemy pervynnoho ta vtorynnoho zabrudnennia pytnoi vody u Pivnichnomu Prychornomor' [Problems of primary and secondary pollution of drinking water in the Northern Black Sea coast]. *Naukovi pratsi Chornomor. derzh. un-tu imeni Petra Mohyly. Ser.: Tekhnohenna bezpeka [Scientific works of the Petro Mohyla Black Sea State University. Series: Technological safety]*, 169(157), pp. 98-102. (in Ukr.)
 12. Safranov, T.A. (2015). Fiziologichna povnotsinnist mineralnoho skladu pytnykh vod yak chynnnyk formuvannia zdorovia naselennia (na przykladi Odeskoi promyslovomiskoi ahlomeratsii) [Balanced mineral composition of drinking groundwater as an factor of influence on the public health]. In: prof. H.I. Rudko (ed). *Medyko-hidroheokhimichni chynnnyky heolohichnoho seredovyscha Ukrainy [Medical-hydrogeochemical factors of geological environment in Ukraine]*. Kyiv – Chernivtsi: Bukrek, pp. 294-31. (in Ukr.)
 13. Zasyпка, L.I. (1999). [The nature and features of soil contamination in Odessa]. *Materialy` Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Utilizatsiya otkhodov, organizatsiya i control" [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Recycling, organization and control of landfills"]*, April, 4-5. Odessa, pp. 211-213. (in Russ.)
 14. Shevchenko, O.H. & Vlasiuk, O.Ia. *Otsinka vrazlyvosti ta zakhody z adaptatsii do zminy klimatu [Vulnerability assessment and measures to adapt to climate change]*. Odesa. Available at: http://necu.org.ua/wp-content/uploads/ad_Odesa_City_A4.pdf (Accessed: 17.10.2018). (in Ukr.)
 15. Vasil'eva, T.V. et al. (1998). [Plants as an integral part and a factor in improving the urban environment]. *Materialy` Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Ekologiya gorodov i rekreatsionnykh zon" [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Ecology of cities and recreational areas"]*, March, 22-24. Odessa, pp. 31-34. (in Russ.)
 16. Boneckiy, A.S. et al. (1998). [Results of the introduction of ornamental trees and shrubs in a botanical garden and their use in green building]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Ekologiya gorodov i rekreatsionnykh zon" [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Ecology of cities and recreational areas"]*, March, 22-24. Odessa, pp. 22-25. (in Russ.)
 17. Perelik terytorii i obektiv pryrodno-zapovidnoho fondu Odeskoi oblasti stanom na 01.01.2018. [List of territories and objects of the natural reserve fund of the Odessa region as of 01.01.2018]. Available at: <http://ecology.odessa.gov.ua/perelik-teritorij-ta-obektiv-prirodno-zapovidnoho-fondu-odesko-oblast-s> (Accessed: 05.02.2019). (in Ukr.)
 18. *Stan sfery povodzhennia z pobutovymi vidkhodamy v Ukraini za 2017 rik [State of the sphere of domestic waste*

- management in Ukraine for 2017]. Available at: <http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretery/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2017-rik/> (Accessed: 25.01.2018). (in Ukr.)
19. Derzhavnyi reestr ob'ektiv pidvyshchenoi nebezpeky [State register of high-risk objects]. Available at: <http://dsp.gov.ua/derzhavnyi-reestr-obektiv-pidvyshchenoi/> (Accessed: 08.01.2019). (in Ukr.)
20. Shafran, L.M. et al. (2000). [Investigation of the risk factors of urban environmental health factors]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Ekologicheskie problemy gorodov, rekreatsionnykh zon i prirodookhrannykh territoriy"* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Environmental problems of cities, recreational zones and protected areas]. October, 10-11. Odessa, pp. 337-340. (in Russ.)

SWOT ANALYSIS OF THE URBANIZED AREA ENVIRONMENTAL COMPONENT (USING THE EXAMPLE OF CITY OF ODESA)

T. A. Safranov, V. Yu. Prykhodko,
T. P. Shanina, K. D. Husieva

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine,
safranov@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0928-521>

Urbanized areas are characterized by a concentration of anthropogenic sources of pollution, and their functioning is a major factor of environmental change. A comprehensive environmental quality assessment, study of the city's environmental component and its impact on the living conditions enable directing the environmental situation management in such a way that allows achieving the optimum possible state of the urbanized areas' natural component. Odessa is a large multifunctional city with extremely diverse anthropogenic impact. This leads to the formation of unfavorable environmental situation. The work is aimed at providing a SWOT analysis of the environmental component of city of Odessa. To achieve this goal, we analyzed the main natural and anthropogenic factors that affect the formation of the ecological situation within the territory of Odessa. The SWOT analysis consists in identifying the Strengths (S) and Weaknesses (W) of the internal environment of the object under research, the Opportunities (O) and Threats (T) of the external environment and establishing the link between them. When speaking about urban systems, the Strengths are different environmentally positive situations, capabilities and properties of the city. The Weaknesses include the existing environmental problems. The Opportunities of the external environment include natural potential of surrounding territories, as well as environmentally positive socio-economic conditions of regional and national levels. The Threats of the external environment include factors that are able to cause harm to the city environment and may cause deterioration of the environmental situation therein. The paper analyzes the existing environmental problems such as a high level of air basin pollution by emissions from mobile and stationary pollution sources, marine environment pollution by pollutants present in sewage and other return waters, surface runoff originating in the city; poor state of water supply and sewage networks; insufficient quality of drinking water from surface and underground water sources; soil contamination by heavy metals, oil products and other pollutants; insufficient landscape gardening of certain city areas and unsatisfactory state of green plantations therein; formation of technogenic groundwater and flooding of the large part of the city's territory; development of dangerous exogenous geological processes; presence of acoustic and electromagnetic pollution sources; poor management and treatment of industrial and consumption waste; presence of environmentally hazardous industrial facilities; unsatisfactory health status of urban inhabitants; low level of environmental culture among citizens. Based on the analysis of internal (strengths and weaknesses) and external (opportunities and threats) factors, a set of measures to improve the environmental situation in Odessa is offered.

Keywords: urbanized area, urban environment, environmental problems, SWOT analysis

SWOT-АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ОДЕССЫ)

**Т. А. Сафранов, В. Ю. Приходько,
Т. П. Шанина, Е. Д. Гусева**

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина,
safranov@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0928-521>*

Урбанизированные территории характеризуются концентрацией техногенных источников загрязнения, а их функционирование является главным фактором изменения окружающей среды. Проведение комплексной оценки качества природной среды, исследование экологической составляющей города и его влияния на условия проживания населения позволяет направить управление экологической ситуацией таким образом, чтобы достичь оптимально возможного состояния именно природной составляющей урбанизированных территорий. Одесса – это большой многофункциональный город, который испытывает весьма разнообразную антропогенную нагрузку, что обуславливает формирование неблагоприятной экологической ситуации. Целью работы является SWOT-анализ экологической составляющей города Одессы. Для достижения этой цели проанализированы основные природные и антропогенные факторы, которые являются причиной формирования экологической ситуации на территории Одессы. SWOT-анализ заключается в выявлении сильных (S) и слабых (W) сторон внутренней среды объекта исследования, возможностей (O) и угроз (T) внешней среды, а также установления связей между ними. В случае городских систем сильными сторонами являются различные экологически положительные ситуации, возможности и свойства города, а слабыми сторонами – актуальные экологические проблемы. Возможности внешней среды – это природный потенциал прилегающих территорий, а также экологически положительные социально-экономические условия регионального и национального уровней. Угрозами внешней среды являются факторы, способные нанести вред окружающей среде города и обусловить ухудшение экологической ситуации. В работе проанализированы существующие экологические проблемы, а это: высокий уровень загрязнения воздушного бассейна выбросами от передвижных и стационарных источников загрязнения; загрязнение морской среды сбросами загрязняющих веществ в составе сточных и других возвратных вод, а также с поверхностным стоком с территории города; неудовлетворительное состояние водопроводной и канализационной сетей; недостаточное качество питьевых вод из поверхностных и подземных источников водоснабжения; недостаточный уровень озеленения отдельных районов города и неудовлетворительное состояние в них зеленых насаждений; формирование техногенных грунтовых вод и подтопление значительной части территории города, а также развитие опасных экзогенных геологических процессов; наличие источников акустического и электромагнитного загрязнения; неудовлетворительное состояние управления и обращения с отходами производства и потребления; наличие экологически опасных промышленных объектов; неудовлетворительное состояние здоровья жителей города, низкий уровень экологической культуры населения. На основании анализа внутренних (сильных и слабых сторон) и внешних (возможностей и угроз) факторов предложен комплекс мер по улучшению экологической ситуации города Одессы.

Ключевые слова: урбанизированная территория, городская среда, экологические проблемы, SWOT-анализ.

*Подання до редакції : 19. 02. 2019
Надходження остаточної версії : 05. 03. 2019
Публікація статті : 30. 05. 2019*

УДК 504:42

ОЦІНКА РЕКРЕАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПЛЯЖНИХ ЗОН ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Л. М. Полетаєва, О. Ю. Сапко, Т. А. Сафранов

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, l.poletayeva555@gmail.com

Серед усіх природних ресурсів рекреанти Одеської області віддають перевагу пляжному відпочинку та суміжним з ним розвагам. Якість та загальний екологічний стан пляжів, їх наявна та потенційна місткість є запорукою потоку рекреантів в Одеську область та її соціально-економічного розвитку. Для обґрунтування сталого рекреаційно-туристичного розвитку територій попередньо слід провести економічну та логістичну оцінку ресурсної бази рекреації та туризму. Це дасть можливість визначити вхідний туристичний потік, а відтак – і обсяги створення потрібної матеріально-технічної бази і туристичної інфраструктури. Метою даного дослідження є оцінка сучасного стану та рекреаційного потенціалу пляжної зони узбережжя Одеської області. Для досягнення цієї мети проаналізовані основні природні і антропогенні фактори, які зумовлюють рекреаційний потенціал прибережної зони Одеської області. Робота ґрунтується на наукових розробках відомих фахівців у сфері рекреаційно-туристичної діяльності, на існуючій нормативно-законодавчій базі, а також на результатах власних досліджень авторів. Вперше була розрахована рекреаційна місткість і логістичний потенціал пляжних зон приморських районів Одещини, зроблені висновки про найбільш перспективні райони для розвитку рекреації. Визначено, що сприятливі кліматичні умови, значна протяжність пляжів та інші природно-рекреаційні ресурси дозволяють говорити про перспективність прибережної зони Одеської області для різних форм рекреації та оздоровлення, включаючи таласотерапію. Саме можливість таласотерапії (насамперед, пляжний відпочинок) у прибережній зоні Одеської області є дуже важливим фактором привабливості для рекреантів. Виявлено, що найбільш перспективними для рекреаційного освоєння є Білгород-Дністровський, Татарбунарський і Лиманський райони. Місткість пляжів цих районів Одеської області навіть перевищує власну кількість населення. У результаті рекреаційного районування узбережжя Чорного моря Одеси за природними рекреаційними факторами встановлено, що із 9-ти рекреаційних мікрорайонів тільки 3 являються сприятливими, 5 – відносно сприятливими, 1 – несприятливий. Але з позицій якості морської води окремі мікрорайони (Лузанівський і Аркадійський) не відповідають санітарним нормам у період інтенсивних опадів. З'ясовано, що існує наявна необхідність розширення пляжних зон, регулювання та перерозподілу рекреаційно-туристичного потоку. Для підвищення рекреаційної привабливості Одеського регіону обласній та міській адміністраціям необхідно приділити більше уваги до вирішення питань щодо покращення екологічного стану пляжних зон узбережжя Чорного моря. Отримані результати можуть бути використані Управлінням культури і туризму Одеської обласної державної адміністрації, підрозділами Міністерства екології та природних ресурсів України з метою оцінки рекреаційного потенціалу пляжних зон Одеської області.

Ключові слова: природно-кліматичні умови, пляжні зони, рекреаційна місткість, рекреаційний потенціал, таласотерапія, Одеська область

1. ВСТУП

У ст. 6 Закону України «Про туризм» (1995 р.) проголошено, що одним із пріоритетних напрямів розвитку економіки й культури є туризм. Економічному розвитку регіону сприятиме зростання кількості підприємств, задіяних у рекреаційно-туристичному обслуговуванні, що надасть можливість поповнити дохідну частину місцевих бюджетів і створити додаткові робочі місця. Важливим чинником підвищення добро-

буту та якості життя мешканців Одеської області є розвиток рекреації і туризму з використанням всього природно-кліматичного, історико-культурного і соціально-економічного ресурсного потенціалу області.

Серед усіх природних ресурсів рекреанти Одеської області віддають перевагу пляжному відпочинку та суміжним з ним розвагам. Якість води, піску, загальний екологічний стан пляжів Одеського регіону, їх наявна та потенційна міст-

кість є запорукою потоку рекреантів в Одеський регіон та його соціально-економічного процвітання.

Для того, щоб скласти плани сталого туристичного розвитку територій, попередньо слід здійснити економічну та логістичну оцінку ресурсної бази рекреації та туризму. Це дасть можливість визначити вхідний туристичний потік, а відтак – і обсяги створення потрібної матеріально-технічної бази і туристичної інфраструктури.

Метою даного дослідження є оцінка сучасного стану та рекреаційного потенціалу приморської пляжної зони Одеської області.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Теоретико-методологічна основа дослідження безпосередньо ґрунтуються на наукових розробках О. О. Бейдика, В. О. Квартального, О. О. Любіцевої, М. П. Мальської, В. І. Мацоли, І. В. Смеля, В. І. Стафійчука, О. Г. Топчієва та ін. [1, 2, 3 та ін.]. Оцінці пляжних ресурсів різних регіонів України для рекреаційного використання були присвячені праці Донченко Л. М., Герасименко В. Г., Сафранова Т. А., Сапко О. Ю., Полетаєвої Л. М., Вернігорової Н. В., Катеруші О. В. та ін. Природно-рекреаційний потенціал прибережної зони Одеської області та інших областей Північно-Західного Причорномор'я охарактеризований в колективній монографії, яка була підготовлена вченими Одеського державного екологічного університету [4].

Логістичний підхід сприяє вирішенню проблеми сталого розвитку туризму, збереження та відновлення ресурсної бази галузі; дозволяє зменшити (а в ідеалі – виключити) ризики погіршення екологічної ситуації, зниження якості туристичних послуг, що надаються, загрози здоров'ю та безпеці туристів, отже, може служити основою для визначення стратегії сталого розвитку туризму в країні та її регіонах. Серед компонентних складових логістики туризму чільне місце займає логістика ресурсної бази туризму. Вона висвітлює такі питання, як значення ресурсної бази в туризмі та її логістичної оцінки, а також особливості визначення логістичного потенціалу природно-рекреаційних та історико-архітектурних ресурсів [5].

Наукові джерела та публікації з логістичної оцінки ресурсної бази туризму практично відсутні, якщо не рахувати праць Смирнова І. Г. [5, 6 та ін.]. Із появою правових механізмів оцінки нерухомості, інтелектуальної власності, бізнесу та довільних об'єктів громадянських прав потрі-

бно розробити економічні та логістичні параметри оцінки туристичних ресурсів, тобто для різних видів і типологій ресурсів визначити їх економічну (ринкову) вартість і логістичний потенціал. Відсутність Єдиного кадастру туристичних ресурсів України практично позбавляє фахівців у галузі оцінки традиційної оцінкової бази, а також ускладнює вибір економічних та логістичних показників, які є підставою їх раціонального споживання та відтворення туристичних ресурсів, податкообладнання, формування структури ціни туристичного продукту, рентних відносин тощо [5].

Існує багато методів оцінки природних рекреаційних ресурсів, однак найбільш поширеною та найбільш відповідною комплексному рекреаційному аналізу території є оцінка ступеню сприятливості тих чи інших факторів для рекреаційного використання за бальною системою. Оптимальне використання 3-бальної системи, оскільки вона дозволяє дати ландшафтну біокліматичну та екологічну оцінку території та отримати комплексний показник. При вивченні природних ресурсів необхідно використовувати пофакторно-інтегральну оцінку кожного з ресурсів, в залежності від виду рекреаційної діяльності, для якої він використовується [7].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Основними факторами формування природно-рекреаційного потенціалу прибережної зони Одеської області є: географічне положення, кліматичні умови, водні об'єкти (насамперед, морський басейн і лимани), мінеральні води, лікувальні грязі, території та об'єкти природно-заповідного фонду, мальовничі природні ландшафти тощо. Унікальне поєднання фізико-географічних особливостей, привабливості прибережної зони Одеської області і різноманітності рекреаційних ресурсів є найважливішими передумовами розвитку різних форм рекреаційної діяльності. Сприятливі кліматичні умови, значна протяжність пляжів та інші природно-рекреаційні ресурси дозволяють говорити про перспективність прибережної зони Одеської області для різних форм рекреації та оздоровлення, включаючи таласотерапію (лікування морським кліматом і купаннями в поєднанні з сонячними ваннами). Саме можливість таласотерапії (насамперед, пляжний відпочинок) у прибережній зоні Одеської області є дуже важливим фактором привабливості для рекреантів. Серед складових природно-рекреаційного ком-

плексу особливе місце займають пляжні зони.

Серед факторів, що визначають можливості бальнеотерапії, особливе значення мають солоність і хімічний склад морських і лиманних вод.

За даними спостережень 1972–1992 рр., солоність морських вод в північно-західній частині Чорного моря (ПЗЧМ) становила не більше 15–16 ‰ [8, 9], тобто райони пляжів Одеської області можна віднести до категорії з «мінімальною» або «оптимальною» солоністю з позицій бальнеології. Протягом 20 років не відбувалося істотних коливань солоності морської води, значення якої варіювали в інтервалі 8–16 ‰. Найбільшою мірою процеси опріснення морських вод відбувалися в пригирлових зонах Дністра і Дунаю. Локальне опріснення морських вод могло бути обумовлено також скиданням стічних та інших зворотних вод з берегових антропогенних джерел (об'єктів) та поверхневим стоком.

Морська вода і ропа лиманів на організм людини впливають сукупністю різних солей (хлориди натрію і магнію, сульфати магнію, кальцію та калію, бромід магнію, солі йоду) і біологічно активних мікроелементів (*Fe, Cu, Mn, P, As, Si, Zn, I* та ін.). Враховуючи невисоку концентрацію солей в морській воді, морські ванни призначаються більш широкому колу осіб, ніж хлоридно-натрієві мінеральні води. Крім того, морська вода використовується для полоскань, зрошень, обливань, обтирань, інгаляцій, душових та ін.

Бальнеотерапевтичні властивості морської води визначаються температурними умовами. Середня багаторічна температура поверхневого шару води складає 15,2 °С. У шарі 0–10 м, де відбуваються найбільші сезонні коливання, спостерігається полімодальна структура розподілу води: 1–4 °С (зимовий період), 6–12 °С (осінній період), 18–24 °С (літній період). Екстремально високі значення температури води в літній період становили 29,4 °С [10, 11].

Протягом купального сезону в пляжних зонах Одеської області, який триває близько 120 днів (приблизно з середини травня до середини вересня), температура морської води становить 18–24 °С, в окремі дні більш 29 °С, тобто досить комфортна для купання та інших процедур. Умови для проведення таласотерапії сприятливі в зв'язку з хорошим нагріванням води біля берегів в літній період, зазвичай слабким хвилюванням моря і наявністю піщаних і піщано-черепашкових пляжів. Найкращий період для морських купань – червень–серпень.

З метою оцінки ефективнішого використання таласотерапії в комплексі з кліматолікувальними

чинниками, було розраховано значення еквівалентно-ефективних температур (ЕЕТ) [10, 11]. За повторюваністю оцінок ЕЕТ в межах зони комфорту 17,3–21,7 °С визначають потенційні кліматолікувальні ресурси місцевості: менше 30 % – мінімальні, 30–50 % – достатні, 50–70 % – оптимальні, більше 70 % – найбільш оптимальні [10]. Чим більше умови середовища відрізняються від комфортних, тим обмеженіше коло пацієнтів, яким можна рекомендувати відпочинок і лікування в такому кліматі, призначати повітряні ванни та інші кліматотерапевтичні і бальнеотерапевтичні процедури. За результатами розрахунків ЕЕТ для трьох літніх місяців протягом десяти років (2000–2009 рр.) на чотирьох станціях, розташованих у ПЗ Одеської області (Одеса, Чорноморськ, Білгород-Дністровський, Вилкове), найбільш холодним місяцем для всіх населених пунктів є червень. Проте тільки у Вилковому червень, в основному, знаходиться в зонах перегріву і комфорту по тепловідчуттю для роздягненої людини, і в достатній мірі підходить для таласотерапії. У червні в Одесі та Чорноморську спостерігається значне підвищення повторюваності ЕЕТ в зоні комфорту (33–62 і 36–67 % відповідно) і зоні перегріву, а також значне зниження в зоні охолодження (56–17 і 56–16 %); в липні та серпні відбувалося істотне зниження повторюваності ЕЕТ в зоні охолодження в Одесі, Чорноморську та Білгород-Дністровському й одночасне підвищення повторюваності ЕЕТ в зоні перегріву. В цілому, найбільш сприятливими для комплексної клімато- і таласотерапії є липень і серпень в Одесі, Чорноморську та Білгороді-Дністровському. Вилкове в найменшій мірі підходить для оздоровлення та рекреації в порівнянні з іншими розглянутими містами, але там краще проводити кліматотерапію в червні, коли показники повторюваності комфортності ЕЕТ відповідають достатнім потенційним біокліматичним ресурсам місцевості [4, 10].

В роботі було розглянуто пляжні зони Лиманського (Комінтернівського), Овідіопольського, Білгород-Дністровського, Татарбунарського та Кілійського приморських районів Одеської області, а також м. Одеса.

На узбережжі більшої частини Одеської області переважають абразійно-зсувні береги, які чергуються з акумулятивними ділянками в гирлах річок. Уздовж узбережжя майже безперервною смугою тягнуться піщані та піщано-черепашникові пляжі, які особливий рекреаційний інтерес представляють на переси-

пах (косах), що відокремлюють морський басейн від лиманів. Природні пляжі розвинені дуже мало, найбільше їх в Татарбунарському районі. Можливості ділянок обривистих берегів і зсувних тіл для рекреаційного освоєння обмежено [10].

За даними ПричорноморДРГП, на території Одеської області зафіксовано більш ніж 6000 зсувів, які розповсюджені на схилах річкових долин, лиманів і моря. В яружно-балковій мережі виявлено до 5000 зсувів. За їх кількістю Одеська область займає в Україні перше місце, за площею розповсюдження – четверте. Приблизно п'ята частина зсувів припадає на береги моря і лиманів. Швидкість збільшення кількості зсувів сягає 100–200 одиниць на рік. Все це свідчить про початковість комплексного вивчення цього процесу та факторів їх формування і розвитку. Максимальна кількість зсувів характерна для Подільського, Ананівського, Окнянського, Балтського та Любашівського районів. Відсутні зсуви на території Татарбунарського, Ізмайльського та Кілійського районів. Найбільш проблемні ділянки з зсувами в смт. Чорноморське, селах Фонтанка, Крижанівка, Нова-Дофінівка (Лиманський район), Шабо (Білгород-Дністровський район), а також в смт. Овідіополь та м. Чорноморськ [12]. Розвиток зсувів негативно впливає на стан пляжних зон.

Крім того, частина узбережжя зайнята морегосподарськими та іншими техногенними об'єктами, що також дещо знижує їх можливості для таласотерапевтичних цілей.

В зв'язку з інтенсифікацією антропогенної діяльності техногенний фактор на окремих територіях набуває домінуючого характеру. Прикладом такого впливу є чорноморська ділянка Одеського узбережжя. За даними первісної Генеральної схеми протизсувних заходів узбережжя м. Одеси, датованої 1940 роком, ширина пляжів в районі північного флангу Чорноморської північної ділянки складала 20–25 м при потужності

донних відкладів до 1,0 м. У наукових публікаціях початку 60-х років XX століття пляжі на цій ділянці описані як широкі і протяжні і такі, що добре збереглися. У картографічних додатках до Проекту протизсувних заходів третьої черги, розроблених інститутом «Одесакомунпроект», ширина пляжів на даній ділянці також складає 20–25 м, але при цьому середні (за період 1963–1977 рр.) величини потужності шару донного розмиву вже складають 0,05–0,1 м/рік. В цілому, за цей же період, по узбережжю в районі с. Чорноморка величини розмиву абразією ґрунтових мас знаходяться в діапазоні 6–50 м³/рік з 1 п.м. узбережжя. В останні роки ширина пляжу складає 1–7 м. Через забудови території плато спостерігається підйом ґрунтових вод та водонасичення льосових ґрунтів, активізувались зсувні деформації у прибровочній частині плато, відбувається руйнування дренажних лотків, житлових будинків та інших споруд [4].

Для проведення оцінки стану прибережної зони була виконана порівняльна характеристика показників якості піску на Одеських пляжах і морської води в прибережній зоні (табл. 1). Для цього були взяті дані моніторингу за 2010–2014 рр., проведеного Державною екологічною інспекцією Північно-Західного регіону Чорного моря. Результати аналізів представлені загалом за весь рік для всього узбережжя м. Одеси від Чорноморки до Лузанівки, тому ціллю дослідження була характеристика обсягів внеску тих чи інших показників в загальне забруднення курортної зони.

У пробах піску часто знаходять незначні перевищення по важким металам (ВМ) і гідрохімічним показникам. Велика частина ВМ вимивається в пляжну зону з дощовою водою. Також значний внесок у забруднення навколишнього середовища робить автотранспорт, оскільки постійно порушується заборона в'їзду автотранспорту у пляжну зону.

Таблиця 1 – Частка (%) проб піску та морської води з порушеннями хімічних і біологічних показників на пляжах Одеської агломерації у 2010–2014 рр.

Рік	Пісок на пляжах				Морська вода	
	Гідрохімічні показники	Важкі метали	Бактеріологічні показники	З гельмінтами	Гідрохімічні показники	Бактеріологічні показники
2010	14	1	4	0	6	6
2011	5	16	15	3	8	3
2012	16	13	44	4	2	4
2013	34	64	0	3	3	2
2014	31	36	0	1	17	2

Що стосується показників хімічного забруднення, воно спостерігається в значній мірі, що неприпустимо для місць рекреації. Причиною може бути як недбале ставлення до прибирання пляжів, так і біохімічні процеси перетравлення забруднювальних речовин (ЗР) бактеріями піску [13], з утворенням побічних продуктів розпаду.

Також мало місце бактеріологічне забруднення, особливо у 2012 році. Це свідчить про дисбаланс бактерій в товщі піску, внаслідок чого надмірно розвивається один або декілька з їх видів. Це може призвести до загибелі корисної флори піску, а також до зараження людей патогенними формами.

Морська вода в акваторії пляжів має перевищення по гідрохімічним і мікробіологічним показникам, спостерігається цвітіння. Найбільше перевищують норму гідрохімічні показники, особливо в 2014 році.

Можна помітити такий зв'язок – в 2013 р. були перевищені нормативи по важким металам в піску, а в 2014 р. спостерігаємо підвищені значення хімічних параметрів. Як зазначається в дослідженнях [13], при вмісті важких металів в піску іде їх окислення з утворенням побічних продуктів, часто токсичних для біоти і небезпечних для людини. Можна пов'язати це так: за 2013 рік у піску пляжної зони накопичувалися такі продукти розпаду, а при сильних опадах вимилися в море. Звісно не треба забувати і про забруднення скидами, бо як свідчать джерела взятих даних, усі об'єкти що мають випуск стічних вод, скидають їх з очищенням, який не відповідає санітарним нормам, або зовсім без очистки. Сюди ж можна віднести і численні розважальні заклади безпосередньо на територіях пляжів.

Високі концентрації O_2 в пригирлових районах зумовлені їх опрісненням річковим стоком, збагаченням біогенними елементами (P , N), що стимулювало розвиток фітопланктону і активне виділення O_2 в процесі фотосинтезу. Оскільки для трансформації відмерлого фітопланктону (фітогенної органічної речовини) в неорганічні сполуки потрібна значна кількість O_2 , то в придонних умовах його вміст різко знижується, що і є причиною гіпоксії. З одного боку, синьо-зелені водорості (СЗВ) характеризуються підвищеним вмістом вітамінів, білків, жирних кислот, I , Mg , Zn , Fe та ін., а бурі водорості (ламідарія, фукус та ін.) та інші макрофіти містять I , Fe , K , Ca , Co , Mn , Cu , P , F , Zn , білки, а також вітаміни A , B_1 , B_2 , B_{12} , C . Ці особливості водоростей дозволяють використовувати їх для процедур обгортання і

отримання лікарських препаратів, які зазвичай використовуються в комплексі з іншими методами таласотерапії. З іншого боку, морські водорості можуть акумулювати забруднювальні речовини і радіонукліди, що може нівелювати їх терапевтичний ефект. Мозаїчне поширення ділянок евтрофікації в ПЗЧМ явище звичайне, але наймасштабніше розвиток фітопланктону в прибережних водах Одеської агломерації було відзначено в липні 2010 р. В акваторії деяких міських пляжів пляма СЗВ примикала до берегової лінії. Було зафіксовано різке збільшення кількості СЗВ (*Nodularia spumigena*, далі – нодулярія). Якщо до цього в прибережних водах ПЗЧМ нодулярія зустрічалася в одиничних екземплярах, то в пік цвітіння (12.07.10 р.) концентрації нодулярії доходили до 1–2 млн. ниток на 1 дм^3 при довжині ниток до 4 мм (до 1 тис. клітин в однієї нитки), а фітомаса становила від 200–400 до 900 мг/дм^3 . Площа цвітіння СЗВ охоплювала кілька км^2 , а морська вода була настільки каламутною, що її прозорість не перевищувала 0,5 м (кількість суспензії при цьому досягало майже 1000 мг/дм^3). Крім нодулярії в плямі цвітіння відзначалося значна кількість інших видів фітопланктону і бентосних форм (до 40 млн. клітин на 1 дм^3). Солоність води в період цвітіння становила 14,2 ‰, а температура води змінювалася в межах 24,7–25 °С. Масовий розвиток СЗВ пов'язувався з надходженням біогенів в складі річкового стоку, аварійними скидами неочищених стічних вод, зливовими стоками. Серед виявлених водоростей були зафіксовані потенційно токсичні види. Повідомлень про отруєння людей токсинами нодулярії не було, але зазначалося, що люди можуть бути сприйнятливі до цих токсинів, як і інші ссавці (пошкодження печінки, подразнення шкіри і очей, слизових покривів) [14].

Як вже зазначалося вище, на якість морських вод в значній мірі впливають берегові антропогенні джерела забруднення Одеської агломерації, до яких відносяться станції біологічної очистки (СБО) м. Одеси «Північна» і «Південна», Одеського припортового заводу та Чорноморського морського торговельного порту, зливовий та дренажний стік, індустріальні джерела [15].

Найбільш значними джерелами забруднення Одеського узбережжя є СБО «Північна» і «Південна». В загальному обсязі вклад вказаних джерел за окремими забруднювальними речовинами складає від 60 до 80 %. Крім того, скид стоків від СБО «Північна» здійснюється на відстані 300 м від урізу води. Тому практично по-

стійно на протязі всього літнього періоду санітарно-епідеміологічна служба забороняє морське водокористування на пляжі «Лузанівка», а при визначених гідрометеорологічних умовах і на пляжі «Ланжерон» [15].

До зливових випусків, які розташовані в районі пляжу «Аркадія», Пересипі та Одеського морського порту, підключені аварійні випуски господарсько-зливової каналізації. В екстремальних умовах, в наслідок випадіння інтенсивних опадів та в період танення снігу, значна частина забруднених стоків скидається по вказаним зливневим випускам в море. Така ситуація призводить до забруднення прибережної морської акваторії нафтопродуктами і СПАР. Після випадіння зливових опадів якість води на пляжах «Аркадія», 10 та 16 ст. Великого Фонтану різко погіршується і тільки через 3–5 діб відновлюється до фоновому стану [16].

Дренажний стік є значним джерелом надходження біогенних речовин. При цьому треба відзначити, що всі ці випуски розташовані безпосередньо в пляжній зоні і знаходяться в аварійному стані. Крім того, в дренажну систему періодично здійснюється скид господарсько-побутових стоків від невстановлених джерел [16].

На якість морського середовища в прибережній зоні впливає і масове відвідування людей. Люди, перебуваючи на березі та мілководді, ущільнюють пісок та морське дно, руйнують гнізда, кладки ікри морських організмів. Крім того, людина викликає хімічне і бактеріологічне забруднення води. В воду з тіла людини змиваються бактерії (до 10 млн. бактерій за 10 хв. з одної людини) та ряд хімічних речовин, а також шкірний жир. Підраховано, що від однієї людини за один день купання в воду потрапляє 94 мг фосфору, 1515 мг азоту, 778 мг натрію, 735 мг калію, 38 мг кальцію, 1333 мг хлору [17].

В береговій зоні Одеської агломерації функціонують великі підприємства, портово-промислові комплекси, термінали, продуктопроводи, небезпечні склади та інші об'єкти, які надають інтенсивне навантаження на природне середовище.

Геоморфологічні характеристики берегів, якість води та піску, інфраструктурне облаштування пляжних зон є передумовою для приваблення відвідувачів до Одеської області. Проте складною залишається ситуація з руйнуванням берегів, забрудненням морської води, хаотичною забудовою у прибережній смузі. Дані проблеми потребують створення цілісної системи вивчення стану пляжів, що може бути сформовано на

основі створення кадастру пляжів курортних населених пунктів, реалізація якого є актуальною задачею [18].

Дуже важливим фактором у рекреаційно-туристичної діяльності є нормування навантаження на рекреаційні території. Нагадаємо, що рекреаційна місткість (ємність) – це загальна кількість осіб, які можуть одночасно перебувати на даній території, не завдаючи шкоди природному середовищу. При надмірному тривалому рекреаційному навантаженні, незважаючи на те, що рекреаційна діяльність є одним з найбільш екологічно безпечних видів господарства, природне середовище зазнає серйозних змін. Рекреаційна ємність території визначається за формулою [19]

$$V_i = (N_i \cdot S_i \cdot C) / D_i, \quad (1)$$

де V_i – рекреаційна ємність i -ї території, осіб; N_i – норма рекреаційного навантаження на i -ту територію, осіб/км²; S_i – площа i -ї рекреаційної території, км²; C – тривалість рекреаційного періоду, днів; D_i – середня тривалість перебування туристів і відпочиваючих на i -й території, днів.

Визначення норм рекреаційного навантаження залежать в основному від природних ландшафтів та сезону року. В загальній системі оцінок найбільший опір на вплив рекреаційного навантаження мають приморські природні комплекси у теплий період року (300–500 осіб/км²) [19]. Ці нормативи сильно занижені. Надаємо цій методиці (Кравців В. С. та ін.) нумерацію 1.

Розрахунок рекреаційної ємності проводимо лише для теплого періоду року, коли є попит на пляжні території. Тривалість рекреаційного періоду при цьому 128 діб. Тривалість перебування одного туриста візьмемо 1 добу. Для розрахунку площі пляжів користуємось даними з табл. 2, сумую довжину придатних та вибірково придатних для рекреації пляжів. Ширину пляжів візьмемо 50 м (0,05 км) [20, 21].

Розраховані одноденні та сезонні мінімальні, середні та максимальні рекреаційні ємності пляжної зони Одеської області (табл. 3). За результатами можна зробити висновок, що найбільш перспективним для рекреаційного освоєння приморської пляжної зони є Татарбунарський район. Його пляжні ресурси можуть забезпечити комфортний відпочинок до 1675 осіб на день, або до 214 400 рекреантів за сезон.

Таку високу рекреаційну ємність пляжів Татарбунарського району можна пояснити багатством цієї території на природні морські пляжі і коси. Як бачимо з табл. 1, район має найбільшу протяжність пляжів серед інших приморських

Таблиця 2 - Пляжні ресурси Одеської області [15] (з доповненнями авторів)

Район, територія міста	Загальна довжина берега, км	Довжина пляжів, км в тому числі:			Береги іншого призначення, км	Площа придатних та вибірково придатних територій, км ²
		придатні для рекреації	вибірково придатні	непридатні для рекреації		
Лиманський	52	30	4	15	3	1,7
м. Одеса	44	35	-	-	9	1,75
Овідіопольський	28	18	3	5	2	1,05
Білгород-Дністровський	46	36	3	5	2	1,95
Татарбунарський	118	56	11	49	2	3,35
Кілійський	106	11	-	39	56	0,55
Разом по області	394	186	21	113	74	10,35

Таблиця 3 – Розрахунок рекреаційної ємності пляжів (V_i) Одеської області, осіб

Райони	Одноденний відпочинок			За сезон при одноденному відпочинку рекреанта		
	V_{min}	$V_{сер}$	V_{max}	V_{min}	$V_{сер}$	V_{max}
Лиманський/Комінтернівський	510	680	850	65 280	87 040	108 800
м. Одеса	525	700	875	67 200	89 600	112 000
Овідіопольський	315	420	525	40 320	53 760	67 200
Білгород-Дністровський	585	780	975	74 840	99 840	124 800
Татарбунарський	1005	1340	1675	128 640	171 520	214 400
Кілійський район	165	220	275	21 120	28 160	35 200
Разом по області	3 105	4 140	5175	397 400	529 920	662 400

Таблиця 4 - Розрахунок розміру ландшафтних зон морських пляжів на одного відвідувача [23]

Зона	Тип пляжу: морський
Акваторія, кв. м	5-10
Пляжна зона, кв. м:	
- на піску	5
- на гальці	5
Припляжна зона, кв. м	5-15

районів. Рекреаційна ємність пляжів Лиманського (Комінтернівського), Білгород-Дністровського районів і м. Одеси мають приблизно однаковий результат – до 1000 відпочивальників на день, і до 100–125 тис. відпочивальників за сезон. Ще раз нагадаємо, що норми рекреаційного навантаження за методикою 1 сильно занижені: на одного рекреанта в приморській зоні приходить від 2000 до 3333 м², що не відповідає ДБН Б.2.2-5:2011 [22].

На пляжах виділяють три ландшафтні зони: акваторія, пляжна та припляжна зона [22]. Розрахунок розміру ландшафтних зон на одного відвідувача для морських пляжів має такі нормативні показники (табл. 4).

За методикою 2 визначається місткість самих

пляжів, а також їх складових [22]. Місткість пляжної зони (M_1 , осіб) можна становити таким чином:

$$M_1 = S/N, \quad (2)$$

де S – площа пляжної зони, у м²; N – норма пляжної зони на 1 відвідувача (5 м²/особу). За методикою 3 пропонує розраховувати місткість пляжної зони за наступною формулою [23]

$$W = F / (N \cdot k), \quad (3)$$

де W – місткість прибережних зон відпочинку; F – площа природних та штучних пляжів сумарна, м²; N – норма площі пляжу на одного відвідувача (5–8 м²); k – коефіцієнт одночасного завантаження пляжу (0,5–1,0).

Методика 4 заснована на логістичному підході [5, 6]. Логістичний потенціал регіону – це сукупність факторів і об'єктів логістичної інфраструктури, що сприяють виконанню завдань оптимізації матеріальних потоків в рамках реалізації стратегічних завдань регіонального і національного забезпечення. Логістичний потенціал – це здатність економічного суб'єкта при наявності сприятливих умов оптимізувати структуру ресурсів і раціонально їх використовувати для досягнення поставленої цілі [6].

Розрахунок логістичного потенціалу пляжної зони Одеської області проводився за методикою Л. М. Донченко [24]. Для цього визначаються:

Показник забезпеченості берегової лінії пляжами:

$$Z_n = L_n / L_{\text{заг}}, \quad (4)$$

де L_n – довжина пляжів; $L_{\text{заг}}$ – загальна довжина берегової лінії.

Показник максимально можливої ємності пляжів:

$$M_g = L_n / C_g, \quad (5)$$

де M_g – максимально можлива одноразова місткість пляжів, осіб; C_g – санітарна норма довжини берегової смуги для входу у воду на одну людину (0,2 м/чол.).

Показник ступеня використання пляжних ресурсів

$$B_n = M_p / M_g, \quad (6)$$

де M_p – ємність рекреаційних підприємств, осіб.

Показник максимально можливої річної ємності пляжів (за комфортний сезон):

$$M_{\text{мр}} = M_g \cdot T, \quad (7)$$

де M_g – максимальна ємність пляжів, людина за день (туристи і місцеві); T – тривалість періоду зі сприятливими погодними умовами для

відпочинку.

Показник максимального річного туристичного потоку:

$$P_{\text{мр}} = M_{\text{мр}} / T_{\text{ст}}, \quad (8)$$

де $M_{\text{мр}}$ – максимальний річний туристопотік, осіб, $T_{\text{ст}}$ – середня тривалість туру, днів.

За формулами (4–8) методики 4 для Одеської області отримані розрахункові характеристики, які наведені у табл. 5.

За експертними оцінками, пляжі мають вміщувати 20 % місцевих жителів, а так як для Одеси це складає 200 000 осіб, можна сказати що ємність пляжів міста вкрай недостатня [21].

Порівнюємо розраховані показники максимальної одноденної та річної місткості пляжів у комфортний сезон відпочинку за чотирма розглянутими методиками (табл. 6).

Як бачимо, максимальна річна місткість пляжів Одеської області та окремих її районів за комфортний сезон відпочинку, яка розрахована за методикою 2, дає найбільші значення у порівнянні з іншими методиками. На наш погляд, перш за все, санітарна норма довжини пляжу на одну людину (0,2 м/чол.), прийнята у методиці 4, сильно занижена. Методики 2 та 3 дають найбільш близькі значення до фактичних. Прийняті методики потребують додаткової перевірки за допомогою досліджень фактичного комфортного перебування рекреантів у пляжній зоні.

Отже по обом методикам можна дати однакові висновки про перспективність освоєння пляжних зон районів Одеської області. З отриманих результатів випливає, що за рекреаційною ємністю пляжів перше місце посів Татарбунарський район. Він добре забезпечений природними пляжами, косами пересипів лиманів. Рекреаційна місткість морських пляжів Татарбунарського району складає 32–49 % від загальної місткості пляжів по області. Цей край має унікальні цілющі ресурси, але водночас існують такі конфлікти: наявність природної рекреаційної бази, але і відсутність централізованого сервісу (в першу

Таблиця 5 – Показники логістичного потенціалу пляжних зон м.Одеси та Одеської області в цілому

Показник (формула)	м. Одеса	Одеська область
Забезпеченість берегової лінії пляжами, м/км, формула (4)	795	525
Максимально можлива ємність пляжів, осіб (5)	175 000	1 035 000
Ступень використання пляжних ресурсів, % (6)	10,7	9,4
Максимально можлива річна ємність, осіб (7)	22 400 000	132 480 000
Максимальний річний туристообіг, осіб, при 7-дневному відпочинку (8)	3 200 000	18 925 714

Таблиця 6 – Розрахункова максимальна одноденна та сезонна місткість морських пляжів Одеської області за чотирма методами, тис. осіб

Район, місто	Методика 1 (V_{max})		Методика 2 (M_1)		Методика 3 (W)		Методика 4 (M_{mr})	
	1 день	Сезон	1 день	Сезон	1 день	Сезон	1 день	Сезон
Лиманський район	0,9	108,8	340	43 520	212,5	27 200	170	21 760
м. Одеса	0,9	112,0	350	44 800	218,8	28 000	175	22 400
Овідіопольський район	0,5	67,2	210	26 880	131,3	16 800	105	13 440
Білгород-Дністровський район	1,0	124,8	390	49 920	243,8	31 200	195	24 960
Татарбунарський район	1,7	214,4	670	85 760	418,8	53 600	335	42 880
Кілійський район	0,3	35,2	110	14 080	68,8	8 800	55	7 040
Разом по області	5,2	662,4	2 070	265 000	1 293,8	166 000	1 035	132 480

чергу, водопостачання і водовідведення); перспектива оздоровлення населення – і необхідність збереження природних ресурсів. Тому освоєння приморської зони потребує комплексного розвитку в усіх сферах – від комунально-побутової до природоохоронної.

Що цікаво – місткість придатних для рекреації пляжів в Білгород-Дністровському (14–19 %) і Комінтернівському (12–17 %) районах на рівні з Одесою (13–17 %), хоча їх потенціал міг бути значно вищий. Вочевидь, пляжі Одеси розвинуті більше, бо це вигідний торговельний, транспортний і культурний центр, в той час як пляжі вище зазначених районів розвиваються переважно природним шляхом, а в умовах переваги вимивання піску прибережна зона має дефіцит придатних для рекреації пляжів. Існують проблеми з централізованим водопостачанням рекреаційних підприємств. Найнижчу рекреаційну ємність мають пляжі Кілійського (4–5 %) і Овідіопольського районів (8–10 %). Тут також існують проблеми з водовідведенням.

Згідно з «Методикою визначення ємності курортів» [23] та ДБН 360-92 [22] можна визначити порогове значення рекреаційної ємності усієї берегової смуги міста або області. Довжина берегової смуги рекреаційного призначення м. Одеси – близько 21 км (з загальної 31,5 км). В Одеській області 207 км придатних та вибірково придатних для рекреації при загальній довжині берега 394 км (див. табл.2).

Розрахунок можна провести за наступною формулою

$$W = L / (N \cdot K_1 \cdot K_2), \quad (9)$$

де W – порогова ємність рекреаційних територій узбережжя; L – загальна довжина берегової смуги, що використовується для рекреації

(21 км.); N – нормативна величина берегової смуги для входу у воду (0,2 м/особу); K_1 – коефіцієнт одночасного завантаження пляжу (0,78); K_2 – коефіцієнт кореляції (об'єкти інженерного облаштування – елінги, рятувальні станції, причали, атракціони) – 0,76.

Коефіцієнт добової змінності пляжного використання становить 1,2 [25], тому для пляжів Одеси отримуємо: 211,76 тис. осіб/день, що близько до результату, отриманому за формулою (5) – 175 тис. осіб/день. Якщо норма забезпечення пляжів має становити 5 м²/особу, тоді на 211,76 тис. осіб потрібна площа пляжів 105,9 га. За фактом пляжна зона міста становить 56 га, ще 49,9 га є дефіцитними. Тому у «Генеральному плані міста Одеси» планується формування близько 100,0 га нових пляжних територій, з них 52,2 га – для інженерного захисту території. У зв'язку з цим у проектному розподілі території міста частка пляжних територій має збільшитись до 150 га, або 0,9 % території міста Одеси [25].

Розрахунок за формулою (9) дає порогове значення рекреаційної ємності берегової смуги Одеської області придатної та вибірково придатної для рекреації – 2 087,395 тис. осіб/день.

Провівши розрахунки рекреаційної ємності приморських районів Одеської області, наглядно бачимо, що приморське узбережжя Одещини має високий рекреаційно-туристичний потенціал. Як показали розрахунки, існує дефіцит пляжної зони, що не сприяє якісному відпочинку і оздоровленню. Згідно з дослідженням, проведеним в 2012 році обласною асоціацією туризму, на одеських пляжах може розташуватися 70 тисяч чоловік (як місцевих, так і мешканців міста). Якщо врахувати, що в останні роки приїжджих рекреантів в Одесі стало більше, то картина стає зовсім невтішною. Наші розрахунки рекреаційної міст-

кості підтверджують той факт, що сезонна ємність одеських пляжів практично у 2 рази менше за необхідну. Тому розширення пляжів і благоустрій прибережної території на сьогодні вкрай необхідні. На європейських курортах мірою обмеження потоку туристів є підвищення вартості квитка. Так, наприклад, зробили в Барселоні, яка приймає 18 млн. відпочиваючих. Щоб скоротити наплив, але не програти в коштах, влада міста обмежила захід у порт круїзних лайнерів, у яких менше трьох зірок і заборонила будівництво нових готелів.

Найкращим рішенням існуючої проблеми є перерозподіл туристичного потоку в інші пляжні зони Одещини. Найбільш перспективні для рекреаційного освоєння Татарбунарський і Білгород-Дністровський райони, місткість їх пляжів навіть перевищує кількість населення району. Білгород-Дністровський: населення – 62,255 тис. осіб, місткість пляжів – 195–390 тис. осіб за добу; Татарбунарський: населення 41,710 тис. осіб, місткість пляжів – 335–670 тис. осіб за добу. До того ж, окрім моря та пляжів, відпочиваючим можна запропонувати лікування мінеральними водами, пелоїдами, ропою лиманів. Дике узбережжя досить багате на краєвиди, флору і фауну, що теж має позитивний рекреаційний ефект.

Але не дивлячись на такий низький рівень освоєння лікувальних ресурсів на сьогоднішній день, існує ряд проблем з їх якістю, а також використанням за нецільовим призначенням і недбалістю ставленням. Це наносить значну шкоду природному середовищу, знижує його стійкість до антропогенного впливу. Як приклад такого нецільового і надмірного використання природних ресурсів – це забудова коси в природному національному парку «Тузлівські лимани», активна діяльність браконьєрів, видобуток піску на Куяльницькому лимані, сільськогосподарське використання земель у водоохоронній зоні лиманів, скид стічних вод та інших зворотних вод, забудова приморської зони без якісного водовідведення тощо.

Тому перед тим як збільшувати величину туристичного потоку в перспективні райони, необхідно забезпечити надійну охорону природи, дотримання санітарних норм, тобто перепрофілювати, принаймні приморський регіон, під туристичну діяльність.

Рекреаційне районування є основою для планування і управління рекреаційною галуззю. За О. О. Бейдиком [1], рекреаційне районування – це поділ території на певні таксономічні одиниці, які відрізняються спеціалізацією рекреацій-

ного обслуговування, структурою рекреаційних ресурсів і напрямками їх освоєння та охорони. Ієрархія рекреаційних районів виділяється найкраще і являється найдодільнішою для певних територій.

На основі аналізу природних факторів для рекреаційних цілей на кафедрі екології та охорони довкілля ОДЕКУ під керівництвом доц. Г. П. Пилипенко зроблена спроба провести природно-рекреаційне районування з урахуванням усіх компонентів ландшафтів активної смуги узбережжя, а також з урахуванням бальної оцінки окремих ділянок цього узбережжя.

Кліматичний фактор, зокрема показники температури повітря, температура води, число днів сприятливих для рекреації однакові для всього узбережжя, тому що немає мікрокліматичних даних для окремих ділянок узбережжя. На основі аналізу окремих показників компонентів встановлена і прийнята така шкала сприятливості (ціна поділки 0,7 бали): 3,0–2,3 бали – сприятливі; 2,29–1,6 бали – відносно сприятливі; 1,59–1,0 бали – несприятливі.

Основні критерії виділення такі: генетичний тип берегів; генезис і ширина пляжів; глибина прибережної акваторії та особливості поверхні дна; наявність рослинного покриву та антропогенне навантаження на узбережжі, естетична оцінка прибережної активної смуги.

З урахуванням даної шкали, виділені 9 рекреаційних мікрорайонів (див. рис. 1):

1) Фонтансько-Крижанівський – абразійно-обвальний, піщаний, піщано-глинистий, відносно сприятливий (1,8 балів);

2) Лузанівський – акумулятивний, піщаний, сприятливий (2,4 балів);

3) Пересипський – акумулятивний, промислово-господарський, відносно сприятливий (1,8 балів);

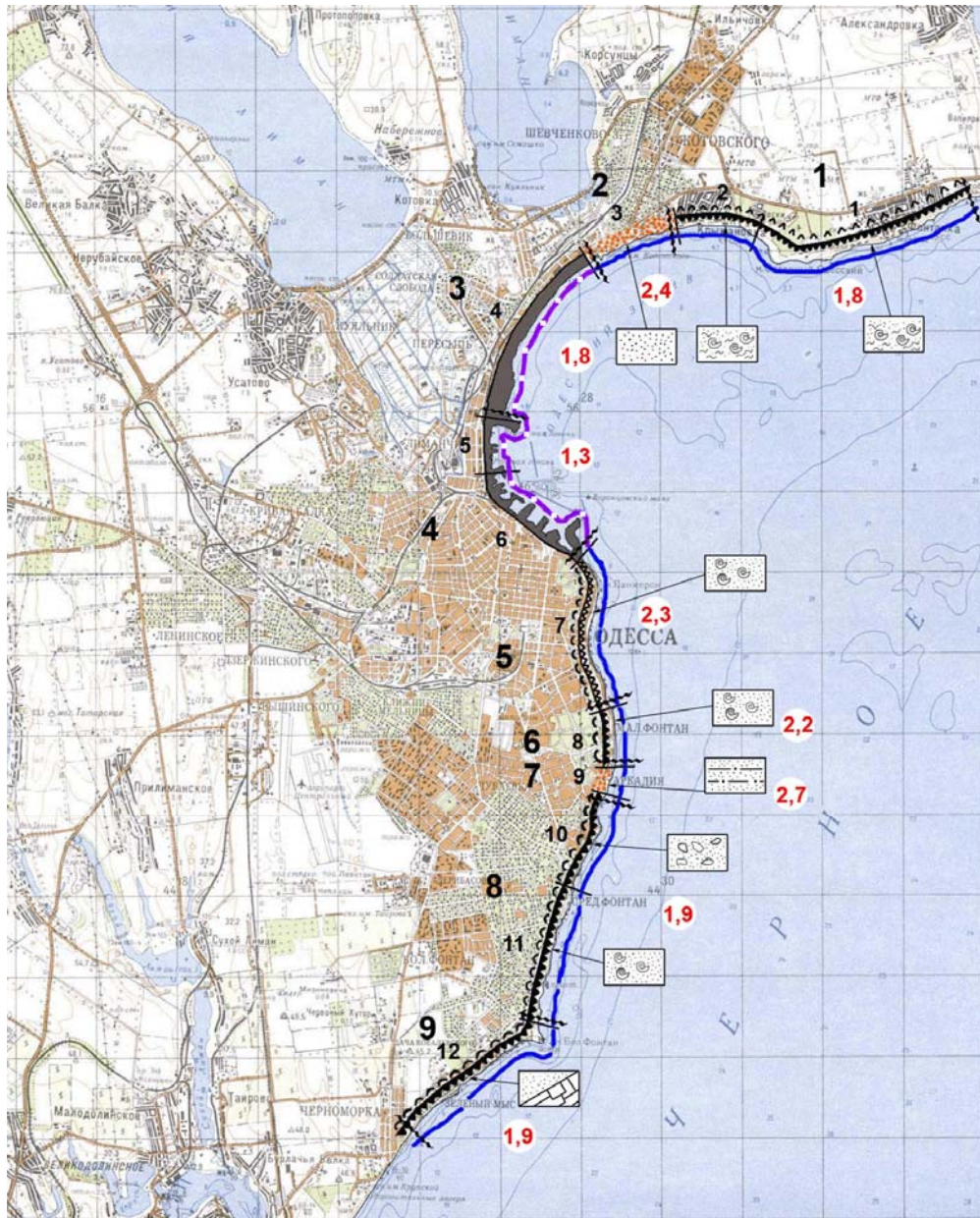
4) Портовий – абразійний, укріплений, техногенний, несприятливий (1,3 балів);

5) Центральноміський – абразійно-зсувний, виположений, піщано-черепашковий, широкий, сприятливий (2,6 балів);

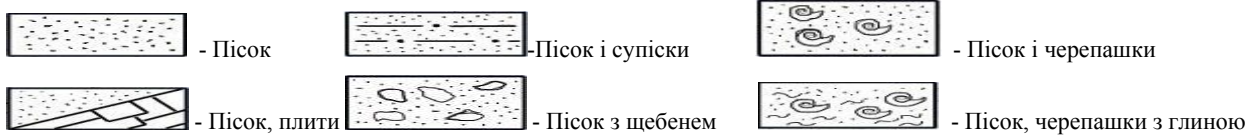
6) Малофонтансько-Аркадійський – абразійно-зсувний місцями виположений, піщано-валуннонапняковий, відносно сприятливий (2,2 балів);

7) Аркадійський – делювіально-акумулятивний, піщано-супіщаний, сприятливий (2,8 балів);

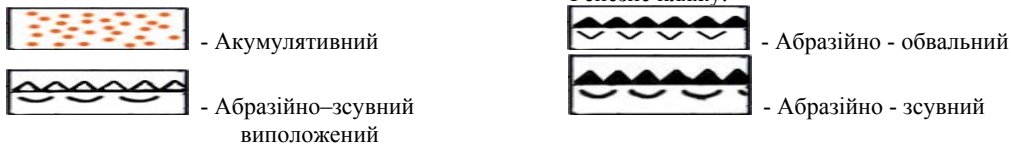
8) Середньофонтанський – абразійно-зсувний, псевдо терасований, піщаний, частково техногенний, відносно сприятливий (1,9 балів);



Типи берегів:



Генезис пляжу:



Глибина моря в зоні купання:



1-9 – природно- рекреаційні мікрорайони; 1-12 – генетичні, геоморфологічні ділянки; 1,0-3,0 – бали

Рис. 1 – Бальна оцінка природно-рекреаційних мікрорайонів узбережжя Чорного моря (в межах території міста Одеси) за показниками природних факторів (за Г. П. Пилипенко)

9) Великофонтанський – абразійно-зсувний, псевдо терасований, піщано-черепашковий, місцями техногенний, відносно сприятливий (1,9 балів).

Як бачимо, рекреаційне районування узбережжя Чорного моря м. Одеса за природними рекреаційними факторами дозволило встановити, що із 9-ти рекреаційних мікрорайонів тільки 3 являються сприятливими: Центральноміський, Аркадійський, Лузанівський; 5 – відносно сприятливими: Фонтансько-Крижанівський, Пересипський, Малофонтансько-Аркадійський, Середньофонтанський, Великофонтанський; 1 – несприятливий – Портовий.

Викладені вище положення та розрахунки мають актуальність для всіх регіонів України з їхніми значними пляжними туристичними ресурсами.

4. ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1) сприятливі кліматичні умови, значна протяжність пляжів та інші природно-рекреаційні ресурси дозволяють говорити про перспективність прибережної зони Одеської області для різних форм рекреації та оздоровлення, включаючи таласотерапію (саме можливість таласотерапії у прибережній зоні Одеської області є дуже важливим фактором привабливості для рекреантів).

2) серед складових природно-рекреаційного комплексу особливе місце займають пляжні зони; найбільш перспективними для рекреаційного освоєння є пляжні зони Білгород-Дністровського, Татарбунарського та Лиманського районів; показник забезпеченості узбережжя пляжами в Білгород-Дністровському районі складає 848 м/км, Овідіопольському – 750 м/км, Лиманському – 654 м/км, Татарбунарському – 568 м/км і Кілійському – 104 м/км.

3) порогове значення рекреаційної ємності пляжів Одеси – 211,76 тис. осіб, але фактично пляжна зона міста становить 56 га, а потрібна площа пляжів 105,9 га, тому потрібно збільшити пляжні території до 150 га, або 0,9 % території міста Одеси замість запланованих 100 га.

4) у результаті рекреаційного районування узбережжя Чорного моря Одеси за природними рекреаційними факторами встановлено, що із 9-ти рекреаційних мікрорайонів тільки 3 являються сприятливими (Центральноміський, Аркадійський, Лузанівський) 5 – відносно сприятливими (Фонтансько-Крижанівський, Пересипський,

Малофонтансько-Аркадійський, Середньофонтанський, Великофонтанський); 1 – несприятливий (Портовий), але якість морської води Лузанівського і Аркадійського мікрорайонів не відповідають нормам у період інтенсивних опадів.

5) існує наявна необхідність розширення пляжних зон, регулювання та перерозподілу рекреаційно-туристичного потоку, а також вирішення питань щодо покращення екологічного стану пляжних зон узбережжя Одеської області.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Бейдик О. О. Рекреаційно-туристські ресурси України: методологія та методика аналізу, термінологія, районування. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2001. 367 с.
- Мацола В. І. Рекреаційно-туристичний комплекс України. Львів: ІРД НАН України. 1997. 259 с.
- Одеський регіон: природа, населення, господарство: навч. посіб. / О. Г. Топчієв та ін. Одеса: Астропринт, 2003. 184 с.
- Стан та якість природного середовища Північно-Західного Причорномор'я: монографія / Одеський державний екологічний університет; за ред. Т. А. Сафранова, А. В. Чугай. Харків: ФОП Панов А. М., 2017. 298 с.
- Смирнов І. Г. Логістика ресурсної бази туризму в контексті його сталого розвитку. *Вісник ДІТБ. Серія: Економіка*. 2008. № 12. С. 159–167.
- Смирнов І. Г. Логістика туризму: навч. посіб. Київ: Знання, 2009. 444 с.
- Исаченко В. Д. Оптимизация природной среды. Москва: Мысль, 1980. 220 с.
- Берлинский Н. А., Тужилкин В. С., Косарев А. Н. Изменчивость гидрофизических полей и придонной гипоксии. *Северо-западная часть Черного моря: биология и экология* / под ред. Ю. П. Зайцева, Б. Г. Алексадрова. Киев: Наукова Думка, 2006. С. 32–52.
- Гідрологічні та геохімічні показники стану північно-західного шельфу Чорного моря: довідковий посібник / за ред. І. Д. Лоевої. Київ: КНТ, 2008. 616 с.
- Сафранов Т. А., Катеруша О. В. Особенности талассотерапии в прибрежной зоне Одесской области. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2011. № 12. С. 3–11.
- Сафранов Т. А., Сапко О. Ю., Катеруша О. В. Рекреационные возможности прибрежной зоны Одесской агломерации. *Екологія міст та рекреаційних зон*: матеріали Всеукр. науково-практ. конф., 02-04 червня. Одеса, 2011. С. 44–49.
- Сафранов Т. А., Черкез Є. А., Шталін С. М. Оцінка сприятливості території Одеської області для розміщення полігонів твердих побутових відходів. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. № 21. С. 98–109.
- Костик В. В. Мониторинг химического состава и свойств песка одесских пляжей». *Науковий вісник міжнародного гуманітарного університету. Серія: Медицина*. 2014. Вип. 6. С. 71–74.
- Цветение сине-зеленых водорослей в Одесском прибрежье (июль 2010 г.) / Украинский В. В., Ковалишина С. П., Сытов В. Н. и др. *Вестник*

- Гидрометцентра Черного и Азовского морей. 2010. № 1(11). С. 109–115.
15. Тучковенко Ю. С., Иванов В. А., Сапко О. Ю. Оценка влияния береговых антропогенных источников на качество вод Одесского района северо-западной части Черного моря: моногр. / Морской гидрофиз. ин-т НАНУ; Од. гос. эколог. ун-т. Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 169 с.
 16. Тучковенко Ю. С., Сапко О. Ю. Характеристика сбросов антропогенных источников загрязнения морских вод у побережья Одессы в современный период. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. Вип. 22. С. 5–13.
 17. Бойчук Ю. Д., Солошенко Е. М., Бугай О. В. Екологія і охорона навколишнього середовища: навч. посіб. Суми: ВТД «Університетська книга», 2005. 302 с.
 18. Про затвердження Програми створення служби містобудівного кадастру у складі управління архітектури та містобудування Одеської міської ради на 2013-2016 роки: рішення Одеської міської ради від 16.04.2013 №3320-VI. URL: <http://ombk.odessa.ua/ua/kadastrova-informatsiya> (дата звернення: 23.03.2019).
 19. Науково-методичні засади реформування рекреаційної сфери / Кравців В. С., Гринів Л. С., Копач М. В., Кузик С. П. Львів: ІРД НАН України, 1999. 78 с.
 20. Вернігорова Н. В., Полетаєва Л. М. Аналіз якості прибережної зони пляжів Одеси. *Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей*. 2016. № 1(19). С. 11–16.
 21. Вернігорова Н. В., Полетаєва Л. М. Логістичний потенціал пляжної зони Одеси. *Сучасний стан та якість навколишнього середовища окремих регіонів: міжнародна наук. конф. молодих вчених, 01-03 червня*. Одеса, 2016. С. 54–56.
 22. ДБН Б.2.2-5:2011. Планування та забудова міст, селищ і функціональних територій. Благоустрій територій: [чинний від 01.09.2012]. Київ: Мінрегіон України, 2012. 50 с.
 23. Містобудування. Довідник проектувальника / за ред. Т. Ф. Панченка. Київ: Укрархбудінформ, 2001. 192 с.
 24. Донченко Л. М. Оцінка пляжних ресурсів для рекреаційного використання на прикладі Запорізького Приазов'я. *Географія і сучасність*. 2005. Вип. 13. С. 129 – 135.
 25. Герасименко В. Г., Ярмоменко С. Г. Інфраструктурне забезпечення пляжного господарства курортного міста. *Наука й економіка*. 2015. №3(39). С.98–107.
 5. Smirnov, I.G. (2008). Lohistyka resursnoi bazy turizmu v konteksti yoho staloho rozvytku [Logistics of the resource base of tourism in the context of its sustainable development]. *Visnyk DITB. Seriya: Ekonomika. [Bulletin DITB. Series: Economics]*, 12, pp.159–167. (in Ukr.)
 6. Smirnov, I.G. (2009). *Lohistyka turizmu [Logistics of Tourism]*. Kyiv: Znannya Publ. (In Ukr.)
 7. Isachenko, V.D. (1980). *Optimizatsiya prirodnoy sredy [Optimization of the natural environment]*. Moscow: Mysl'. (in Russ.)
 8. Berlinskiy, N.A., Tuzhilkin, V.S. & Kosarev, A.N. (2006). Izmenchivost' gidrofizicheskikh poley i pridonnoy gipoksii [Variability of hydrophysical fields and benthic hypoxia]. In: Zaytsev, Yu.P. and Aleksandrov, B.G. (eds). *Severo-zapadnaya chast' Chernogo morya: biologiya i ekologiya [North-western part of the Black Sea: biology and ecology]*. Kiev: Naukova dumka, pp. 32–52. (in Russ.)
 9. Loyeva, I.D. (ed.). (2008). *Hidrolohichni ta heokhimichni pokaznyky stanu pivnichno-zakhidnoho shelfu Chornoho moria [Hydrological and geochemical indicators of the state of the north-western shelf of the Black Sea]*. Kyiv: KNT Publ. (in Ukr.)
 10. Safranov, T.A. & Katerusha, O.V. (2011). Osobennosti talassoterapii v pribrezhnoy zone Odesskoy oblasti [Features of thalassotherapy in the coastal zone of the Odessa region]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 12, pp. 3–11. (in Russ.)
 11. Safranov, T.A., Sapko, O.Yu. & Katerusha, O.V. (2011). [Recreational opportunities of the coastal zone of the Odessa agglomeration]. *Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktichnoyi konferentsii "Ekologhiia mist ta rekreatsiniykh zon" [Proceedings of the All-Ukrainian Scientific Practical Conference "Ecology of cities and recreation areas"]*, 02-04 June. Odessa, pp. 44–49. (in Russ.)
 12. Safranov, T.A., Cherkez, Ye.A. & Shatalin, S.M. (2018). [Assessment of the favorable territory of the Odessa region for the placement of landfills for solid household waste]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 21, pp. 98–109. (in Ukr.)
 13. Kostyk, V.V. (2014). Monitoring khimicheskogo sostava i svoystv peska Odesskikh pliazhei [Monitoring of the chemical composition and sand properties of Odessa beaches]. *Naukovyi visnyk mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. Seriya: Medytsyna. [Scientific Bulletin of the International Humanitarian University. Series: Medicine]*, 6, pp. 71–74. (in Russ.)
 14. Ukrainskiy, V.V., Kovalishina, S.P., Sytov, V.N. et al. (2010). Svechenie sine-zelenykh vodoroslei v Odesskom pryberezh'ye (iyul 2010 g.) [Flowering of blue-green algae in the Odessa coast (July 2010)]. *Vestnyk Gidromettsentra Chernogo i Azovskogo morey [Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas]*, 1(11), pp. 109–115. (in Russ.)
 15. Tuchkovenko, Yu.S., Ivanov, V.A. & Sapko, O.Yu. (2011). *Otsenka vliyaniya beregovykh antropogennykh istochnikov na kachestvo vod Odesskogo regiona severo-zapadnoy chasti Chernogo morya [Assessment of the coastal anthropogenic sources impact on water quality in north-western part of Black Sea near Odessa]*. Marine Hydrophysical Institute of NASU, Odessa State Environmental Un-ty. Sevastopol: SPC "EKOSI-Gidrofizika" (in Russ.)
 16. Tuchkovenko, Yu.S. & Sapko, O.Yu. (2017). [Assessment of the Coastal Anthropogenic pollution sources impact on water quality in north-western part of black sea near Odessa]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo*

REFERENCE

1. Beidyk, O.O. (2001). *Rekreatsiino-turystski resursy Ukrainy: metodolohiia ta metodyka analizu, terminolohiia, raionuvannia [Recreational and tourist resources of Ukraine: methodology and methods of analysis, terminology, zoning]*. Kyiv: UPC "Kyiv University" Publ. (in Ukr.)
2. Matsola, V.I. (1997). *Rekreatsiino-turystychnyi kompleks Ukrainy [Recreational and tourist complex of Ukraine]*. Lviv: IRD NAS of Ukraine Publ. (in Ukr.)
3. Topchiev, O.G. et al. (2003). *Odeskyi rehion: pryroda, naselennia, hospodarstvo [Odessa region: nature, population, economy: education. manual]*. Odessa: Astropoint. (in Ukr.)
4. Safranov, T.A. & Chuhai, A.V. (eds). (2017). *Stan ta yakist pryrodnoho seredovyscha Pivnichno-Zakhidnoho Prychornomoria [Status and quality of the natural environment of the Northwest Black Sea]*. Odessa State Environmental University. Kharkiv: FOP Panov A.M. Publ. (in Ukr.)

- universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university], 22, pp. 5–13. (in Russ).
17. Boychuk, Yu.D., Soloshenko, E.M. & Bugai, O.V. (2005). *Ekolohiia i okhrona navkolyshnioho seredovyshcha* [Ecology and Environmental Protection]. Sumy: VTD "University Book" Publ. (in Ukr.).
 18. *Pro zatverdzhennia Prohramy stvorennia sluzhby mistobudivnoho kadastru u skladi upravlinnia arkhitektury ta mistobuduvannia Odeskoi miskoi rady na 2013-2016 roky: rishennia Odeskoi miskoi rady vid 16.04.2013 №3320-VI* [On Approval of the Program for the Establishment of a Urban Cadastre Service in the Architecture and Urban Development Department of the Odessa City Council for the years 2013-2016: the decision of the Odessa City Council dated 16.04.2013 #3320-VI]. Available at: <http://ombk.odessa.ua/ua/kadastruva-informatsiya/> (accessed: 23 March 2019). (in Ukr.)
 19. Kravtsiv, V.S., Hryniv, L.S., Kopach, M.V. et al. (2014). *Naukovo-metodychni zasady reformuvannia rekreatsiinoi sfery* [Scientific and Methodical Principles of Reformation of the Recreational Sphere]. Lviv: IRD NAS of Ukraine Publ. (in Ukr.)
 20. Vernigorova, N.V. & Poletayeva, L.M. (2016). Analiz yakosti pryberezhnoi zony pliazhiv Odesy [Analysis of the quality of the coastal zone of the beaches of Odessa]. *Vestnyk Hidromettsentra Chernogo y Azovskogo morei* [Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas], 1(19), pp. 11–16. (in Ukr.)
 21. Vernigorova, N.V. & Poletayeva, L.M. (2016). [Logistic potential of the beach zone of Odessa]. *Materialy mizhnarodoi nauk. konf. molodykh vchenykh "Suchasnyi stan ta yakist navkolyshnoho seredovyshcha okremykh rehioniv"* [Proceedings of the International science. conf. Young Scientists "Current status and quality of the environment of individual regions"], 01-03 June. Odessa, pp. 54–56. (in Ukr.)
 22. State Research Institute of Building Constructions (2011). *DBN B.2.2-5:2011: Planuvannia ta zabudova mist, selyshch i funktsionalnykh terytorii. Blahoustrii terytorii* [DBN B.2.2-5:2011: Planning and building cities, towns and functional territories. Improvement of territories]. Kyiv: Minregion of Ukraine. (in Ukr.)
 23. Panchenko, T.F. (ed.). (2001). *Mistobuduvannia. Dovidnyk proektuvannya* [Town planning. Designer's guide]. Kyiv: Ukrarkhbudinform. (in Ukr.)
 24. Donchenko, L.M. (2005). Otsinka pliazhnykh resursiv dlia rekreatsiinoho vykorystannia na prykladi Zaporizkoho Pryazovia [Estimation of beach resources for recreational use on the example of the Zaporizhzhya Azov Sea]. *Heohrafiia i suchasnist* [Geography and the present], 13, pp. 129–135. (in Ukr.)
 25. Herasymenko, V.G. & Yaromenko, S.H. (2015). Infrastrukturne zabezpechennia plyazhnoho hospodarstva kurortnoho mista [Infrastructure provision of the beach resort of the resort city]. *Nauka i ekonomika* [Science and Economics], 39, pp. 98–107. (in Ukr.)

EVALUATION OF RECREATIONAL POTENTIAL OF ODESA REGION'S BEACH ZONES

L. M. Poletayeva, O. Yu. Sapko, T. A. Safranov

Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, lpoletayeva555@gmail.com

Among all the natural resources available in Odessa Region vacationists prefer beaches and associated entertainments. Quality and general ecological condition of the beaches in addition to the potential and actual beach capacity are key factors for tourist flow to Odessa Region and its socio-economic development. In order to substantiate the recreational and tourist development of the territory an economic and logistic evaluation of its resource base should be carried out. This will make it possible to determine an input tourist flow which dictates the volumes of required tourist infrastructure and material and technical facilities. The purpose of this study is to evaluate recreational potential of Odessa Region's beach zones. To achieve this, all main natural and anthropogenic factors determining the recreational potential of the coastal zone were analyzed. The study is also based on scientific researches in the field of recreational and tourist activities made by well-known experts, on the existing regulatory frameworks and results of the authors' own research works. For the first time, recreational capacity and logistic potential of Odessa Region's beach zones were estimated. Based on this estimation multiple conclusions about the most promising areas for future development of the recreation sector were made. It was determined that favorable climatic conditions, considerable length of beaches and other natural and recreational resources allow us to speak about good prospects of the Odessa Region's coastal zone for various forms of recreation including thalassotherapy. In fact, thalassotherapy opportunity (first of all, beach recreation) is a very important factor of attractiveness for vacationists visiting the Odessa Region's coastal zone. According to our research, Bilhorod-Dnistrovskyi, Tatarbunarskyi and Lymanskyi districts are the most promising ones for recreational development. The total capacity of the beaches here even exceeds the districts' own population. Conducted recreational zoning of the Odessa's Black Sea coast established that, based on the natural recreational factors, out of 9 recreational microdistricts only 3 of them may be classified as favorable, with 5 being relatively favorable and 1 – completely unfavorable. But, from the perspective of sea water quality, some microdistricts (Luzanivskyi and Arkadiyskyi) do not meet sanitary standards during the period of intense precipitation. It was found that there is a need for expansion of beach areas as well as a need for regulation and redistribution of the recreational and tourist flow. In order to increase recreational attractiveness of Odessa Region, regional and city administrations should pay more attention to the ecological conditions of beach areas of the Black Sea coast. The obtained results may be used by

the Department of Culture and Tourism of the Odesa Regional State Administration, divisions of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine in order to assess the recreational potential of the Odesa Region's beach areas.

Keywords: climatic conditions; beach areas; recreational capacity; recreational potential; thalassotherapy; Odesa Region

ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЛЯЖНЫХ ЗОН ОДЕССКОЙ ОБЛАСТИ

Л. Н. Полетаева, О. Ю. Сапко, Т. А. Сафранов

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, l.poletayeva555@gmail.com*

Среди всех природных ресурсов рекреанты Одесской области предпочитают пляжный отдых и смежные с ним развлечения. Качество и общее экологическое состояние пляжей, их фактическая и потенциальная емкость являются залогом потока рекреантов в Одесскую область и ее социально-экономического развития. Для обоснования устойчивого рекреационно-туристического развития территорий, предварительно следует провести экономическую и логистическую оценку ресурсной базы рекреации и туризма. Это даст возможность определить входной туристический поток, а следовательно, и объемы создания нужной материально-технической базы и туристической инфраструктуры. Целью данного исследования является оценка современного состояния и рекреационного потенциала пляжной зоны побережья Одесской области. Для достижения этой цели проанализированы основные природные и антропогенные факторы, обуславливающие рекреационный потенциал прибрежной зоны Одесской области. Работа основывается на научных разработках известных специалистов в сфере рекреационно-туристической деятельности, на существующей нормативно-законодательной базе, а также на результатах собственных исследований авторов. Впервые была рассчитана рекреационная емкость и логистический потенциал пляжных зон приморских районов Одесской области, сделаны выводы о наиболее перспективных районах для развития рекреации. Определено, что благоприятные климатические условия, значительная протяженность пляжей и другие природно-рекреационные ресурсы позволяют говорить о перспективности прибрежной зоны Одесской области для различных форм рекреации и оздоровления, включая талассотерапию. Именно возможность талассотерапии (прежде всего, пляжный отдых) в прибрежной зоне Одесской области является очень важным фактором привлекательности для рекреантов. Выявлено, что наиболее перспективными для рекреационного освоения являются Белгород-Днестровский, Татарбунарский и Лиманский районы. Вместимость пляжей этих районов Одесской области даже превышает собственное количество населения. В результате рекреационного районирования побережья Черного моря Одессы по природным рекреационным факторам установлено, что из 9-ти рекреационных микрорайонов только 3 являются благоприятными, 5 - относительно благоприятными, 1 - неблагоприятный. Но с позиций качества морской воды отдельные микрорайоны (Лузановский и Аркадийский) не отвечают санитарным нормам в период интенсивных осадков. Выяснено, что существует необходимость расширения пляжных зон, регулирования и перераспределения рекреационно-туристического потока. Для повышения рекреационной привлекательности Одесского региона областной и городской администрациям необходимо уделить больше внимания решению вопросов по улучшению экологического состояния пляжных зон побережья Черного моря. Полученные результаты могут быть использованы Управлением культуры и туризма Одесской областной государственной администрации, подразделениями Министерства экологии и природных ресурсов Украины с целью оценки рекреационного потенциала пляжных зон Одесской области.

Ключевые слова: природно-климатические условия; пляжные зоны; рекреационная емкость; рекреационный потенциал; талассотерапия; Одесская область

Подання до редакції : 01. 04. 2019
Надходження остаточної версії : 10. 04. 2019
Публікація статті : 30. 05. 2019